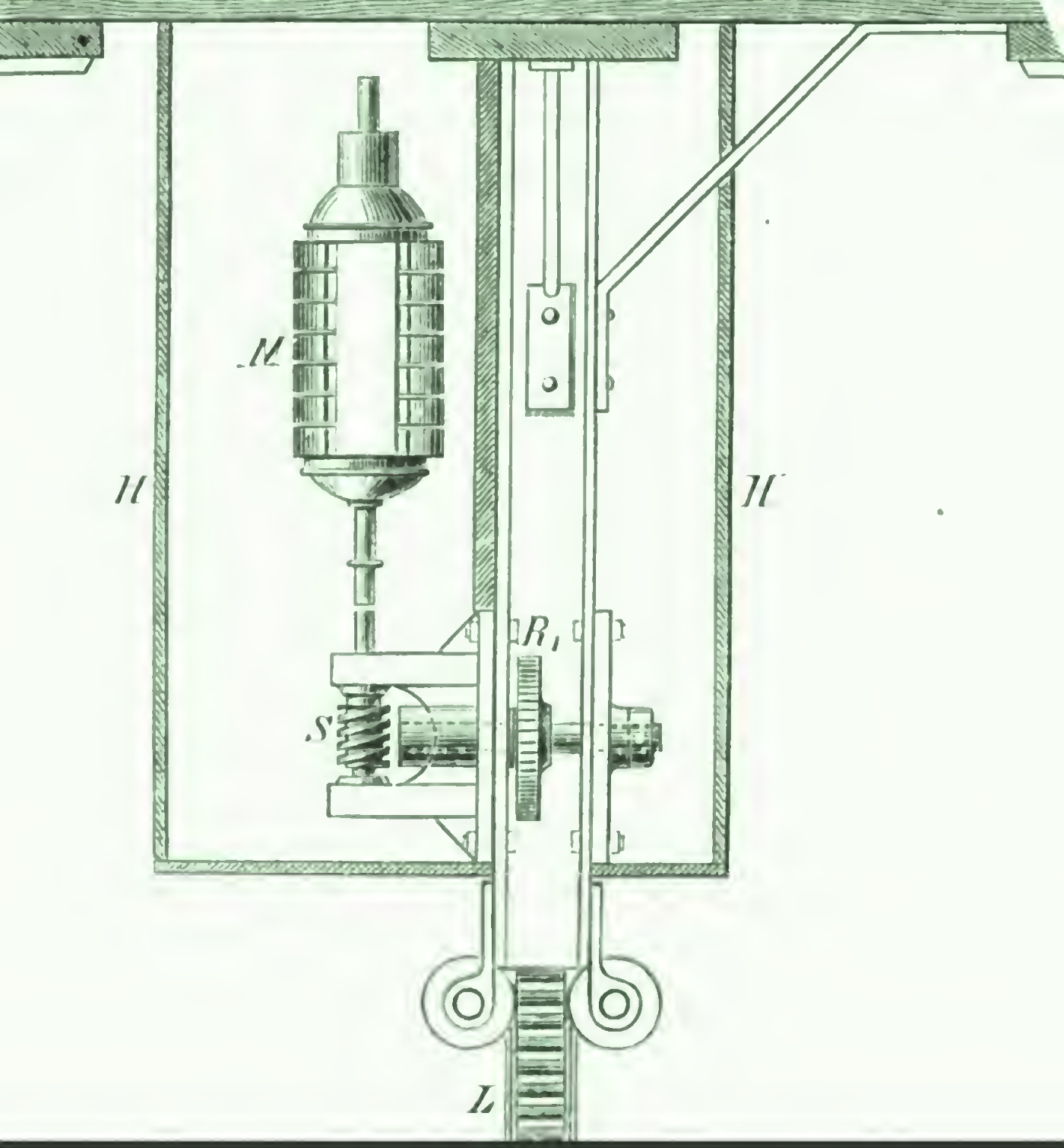
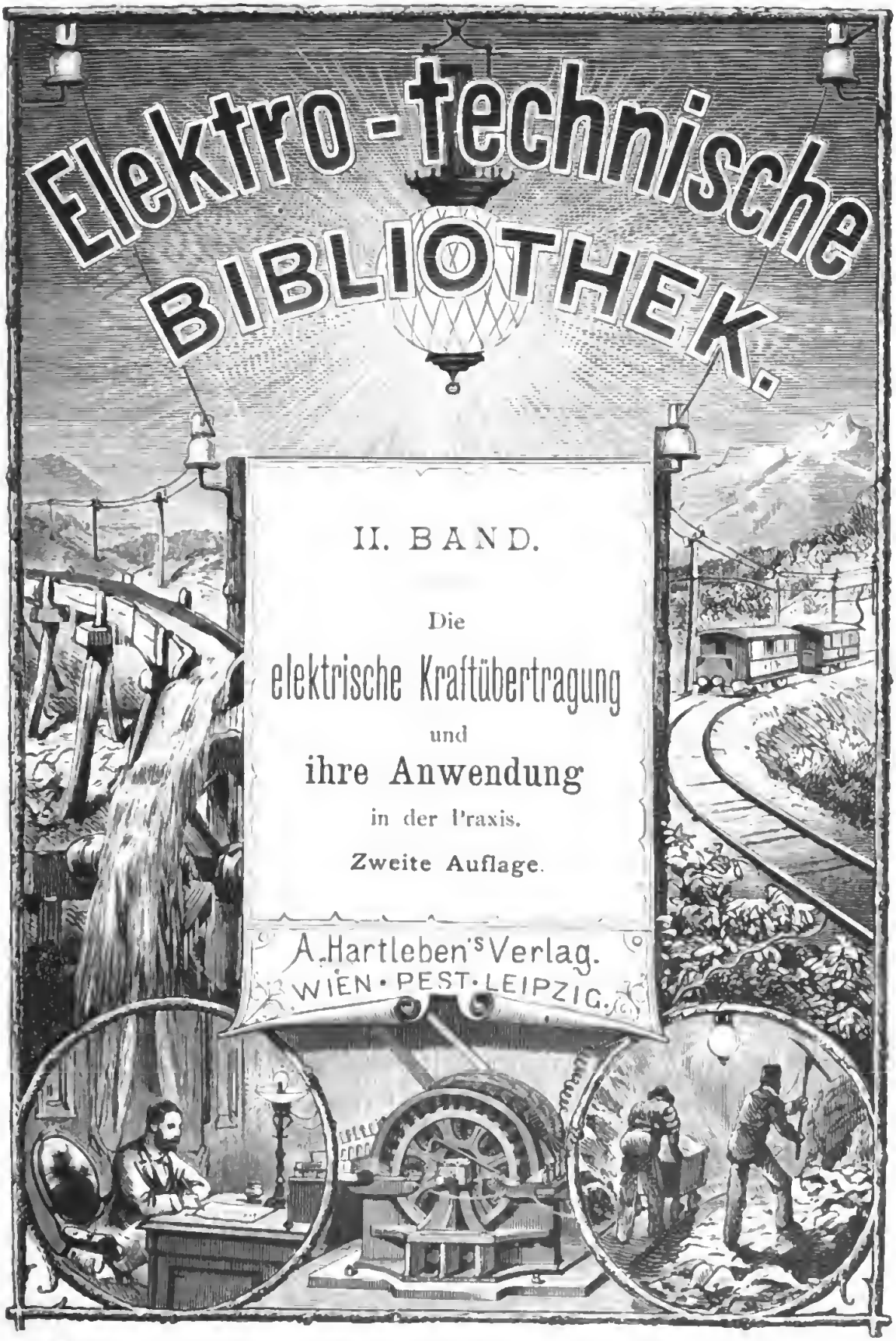
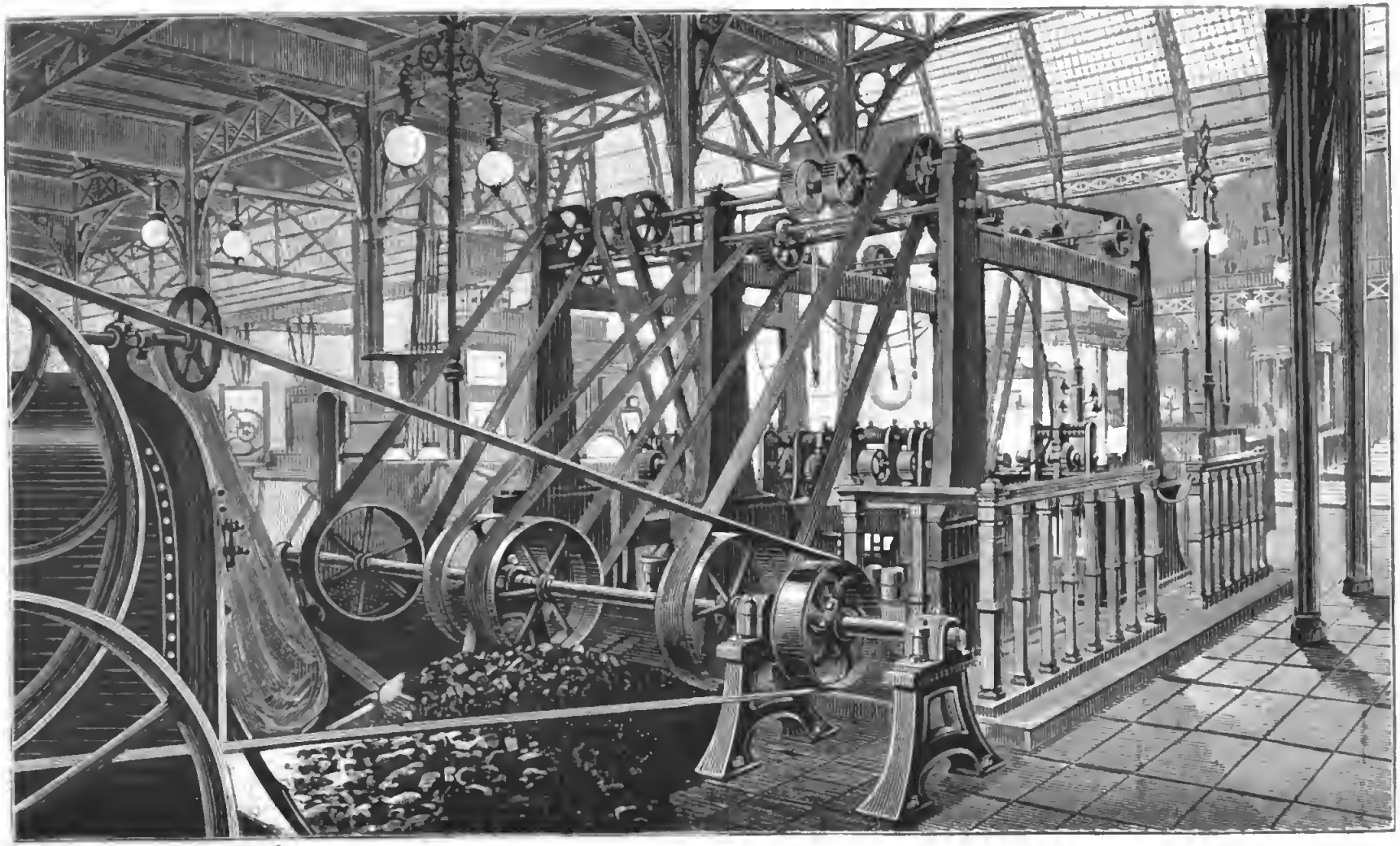


Die elektrische Kraftübertragung

Eduard Japing, Burndy Library

Digitized by Google


Elektro-technische
BIBLIOTHEK.
II. BAND.
Die
elektrische Kraftübertragung
und
ihre Anwendung
in der Praxis.
Zweite Auflage.
A. Hartleben's Verlag.
WIEN · PEST · LEIPZIG.



Elektrische Kraftübertragung von Heilmann, Ducommun und Steinlen auf der Elektricitäts-Ausstellung in Paris.

MAR 23 1885

Die

elektrische Kraftübertragung

und ihre

Anwendung in der Praxis.

Mit besonderer Rücksicht auf die Fortleitung und Vertheilung des elektrischen Stromes

dargestellt von

Eduard Japing
dipl. Ingenieur.

Mit 45 Abbildungen.

Zweite Auflage.

WIEN, PEST, LEIPZIG.
A. HARTLEBEN'S VERLAG.
1883.

~~F. 2040~~
Eng 4098.83
MAR 23 1885

Alle Rechte vorbehalten.

Druck von Friedrich Jasper in Wien.

Digitized by Google

Vorwort.

Es liegt ein eigener Reiz in Allem, was mit der Elektricität und dem Magnetismus zusammenhängt, diesem Geschwisterpaar geheimnissvoller Naturkräfte, über deren innerstes Wesen uns noch so wenig bekannt, dass sie einer anderen, uns verschlossenen Welt, einem Reiche der vierten Dimension anzugehören scheinen.

Wir sitzen am häuslichen Herd, im Kreise der Unsern und lenken unsere Gedanken zurück auf längst vergangene Zeiten, weilen mit schmerzlich süssem Behagen bei der Erinnerung an den einen oder anderen unserer Bekannten und Freunde, der einst unserem Herzen nahe gestanden und nun seit langen Jahren verschollen, vielleicht schon längst nicht mehr unter den Lebenden weilt. Da klopft es, ein Bote erscheint und wir lesen freudevollen Herzens eine frohe Botschaft, Worte der Liebe, die der halbvergessene Freund, vor wenig Minuten fern, fern von uns, in einem anderen Erdtheil geschrieben hat. — Das ist der elektrische Telegraph.

Wir stehen in einer engen Zelle und lauschen gar seltsam verändert klingenden und doch so wohlbekannten Tönen, der Stimme einer gefeierten Sängerin, den Klängen eines grossen Orchesters, wir schwelgen im Genusse einer vollendeten musikalischen Leistung und wissen, dass die Urheber derselben stundenweit

von uns vor einem glänzenden Publikum stehen, ohne Ahnung von dem heimlichen Lauscher, der an ihren Gaben theilnimmt, ohne Entrée bezahlt zu haben. — Das ist das Telephon.

Wir betreten die Ateliers eines grossen Modegeschäftes in einem modernen Babel, in einer der Millionenstädte unseres Welttheils. — Da klappern und schnurren im weiten Saale 20, 30, 40 Nähmaschinen ohne Rast und Ruhe im Dienste der mächtigsten Herrscherin aller Zeiten, im Dienste der Mode. Ein helles, wohlthuendes Licht erfüllt den Raum, lässt alle Farben wärmer und glänzender, alle Körper voller und plastischer erscheinen. Was aber bewegt diese zahllosen Räder und Rädchen? Woher stammt das angenehme und klare Licht in diesen zahlreich auf Candelabern vertheilten oder zu traubenförmigen Gebilden vereinigt von der Decke herabhängenden Wunderlämpchen? Wir sehen weder Riemen noch Räder, weder Kerzen oder Oelvasen noch Gasrohre, wie sie unserer Meinung nach von jedem maschinellen Betriebe, von jeder Lichtquelle untrennbar. Nur ein scheinbar regelloses Netz feiner Drähte hängt, dem Gewebe einer Riesenspinne vergleichbar, in der Luft. Der Führer bemerkt unseren fragenden Blick und spricht: »Das ist die elektrische Kraftübertragung.«

Viele Meilen von hier, im wilden Hochgebirge, fern von den Sitzen der Industrie hat das Kind des ewigen Gletschers, der reissende Waldstrom, einen mächtigen Wasserfall gebildet. Kein Lehrbuch der Geographie wusste um sein Dasein, nur wenigen Waldbewohnern war er bekannt und selten verirrte sich der Fuss eines

kühnen Touristen in diese Einöde. Da kam der rastlose Unternehmungsgeist des Industriellen, überwältigte den freien Sohn des Gebirges, zwang ihn seinen Weg durch lange eiserne Röhren zu nehmen und am Ende derselben mächtige Wasserräder moderner Gestalt, Turbinen genannt, zu betreiben. Die gewonnene Kraft aber wandelte er in jenes geheime Fluidum, in Elektricität, leitete dasselbe thalabwärts auf langen Drähten zu den Wohnsitzen der Menschen, um es dort in den mannigfaltigsten Formen zur Beleuchtung der Strassen und Häuser und zum Betriebe zahlreicher kleiner und grosser Arbeitsmaschinen zu verwenden. Wahrlich einer der grossartigsten Beweise für die Ueberlegenheit des Menschen über die ganze lebende und leblose Schöpfung.

Wen gelüstete es nicht, Näheres zu erfahren über die Mittel und Wege, deren sich der Menschengeist bediente, um solch wunderbare Resultate zu erzielen? Wer möchte sich nicht einen Führer wünschen, der Schritt für Schritt ihm das Verständniss eröffnete für die Naturgesetze, mit deren Hilfe dieser neue Fortschritt angebahnt wurde? Nun, einen solchen möchte das vorliegende Werkchen abgeben — soweit die schwachen Kräfte des Verfassers reichen.

So verlockend aber auch das in Aussicht gestellte Ziel ist, so wünschenswerth auch die Erkenntniss des Wirkens der geheimnissvollen Naturkraft jedem Gebildeten erscheinen mag, der Weg dahin ist mühevoll und weit. Manche trockene und langweilige Definition müssen wir uns zu eigen machen, schier endlose Reihen mathematischer Entwickelungen, holperigen und steinigen Gebirgspfaden vergleichbar, sind zu überwinden, ehe wir zu

den Endresultaten unserer Betrachtungen gelangen. Möge es dem Verfasser gelungen sein, wenigstens Einiges zur Ueberwindung dieser Schwierigkeiten beizutragen, seinen freundlichen Lesern das eine oder andere Hinderniss aus dem Wege zu räumen, so würde er sich für seine Mühe reichlich belohnt finden.

Die Quellen, aus denen der Verfasser dieses Werkes schöpfte, finden sich grösstentheils im Texte selbst angegeben, so dass eine Aufzählung derselben an dieser Stelle wohl unterbleiben kann. Nur eine der hauptsächlichsten Quellen soll hier besonders erwähnt und hervorgehoben sein, es sind dies die Manuscripte vom Verfasser des ersten Bandes der elektrotechnischen Bibliothek, Herrn Gustav Glaser de Cew, welcher durch Privatangelegenheiten verhindert wurde, auch diesen zweiten Theil des Gesammtwerkes selbst auszuarbeiten.

Das eigentliche Fachpublikum aber, die Jünger des erst seit Kurzem an unseren Hochschulen anerkannten Zweiges der Naturwissenschaft, die Elektrotechniker, möchten wir um Nachsicht bitten, wenn an der einen oder anderen Stelle die Kräfte des Verfassers mit den Schwierigkeiten seiner Aufgabe nicht ganz im Einklang standen (ist doch die Sache an sich noch so neu, fehlt es doch noch so vollständig an guten Vorbildern für die Behandlung des schwierigen Themas) — oder wenn es bei der Kürze der zu Gebote stehenden Zeit nicht möglich war, das Werk so ganz aus einem Gusse erscheinend zu gestalten. Mit diesem Wunsche schliesst seine Arbeit

Der Verfasser.

Inhalt.

Seite

Vorwort V

Inhalt IX

Illustrations-Verzeichniss XIII

Elektrische Einheiten XV

Einleitung: Von der Kraftübertragung im Allgemeinen und der elektrischen Kraftübertragung insbesondere . . . 1

Ueber die Grösse unbenützter Naturkräfte. — Aeltere Versuche zur Nutzbarmachung von Naturkräften. — Nutzbarmachung der in den Steinkohlen aufgespeicherten Energie. — Nutzbarmachung der Naturkräfte durch elektrische Kraftübertragung. — Beispiele für Kraftübertragung durch den elektrischen Strom. — Eintheilung des zu behandelnden Stoffes.

I. Naturkräfte und Krafterzeugungs-Maschinen, welche sich für elektrische Kraftübertragung eignen 10

Leistungsfähigkeit der Dampfkessel und Dampfmaschinen. — Passende Dampfmaschinen-Systeme. — Andere Motoren. — Nutzbarmachung von Ebbe und Fluth. — Verbindung zwischen Motor und elektrischer Maschine.

II. Elektrische Maschinen zur Stromerzeugung und Elektromotoren 21

Allgemeines über magnetelektrische Maschinen. — Dynamoelektrische Maschinen. — Vorzüge und Nachtheile beider Systeme für die Zwecke elektrischer Kraftübertragung. — Elektrische Maschinen zur Wiederumwandlung des elektrischen Stromes in mechanische Energie. — Froment's Elektromotor. — Trouvé's Elektromotor. — Deprez' Elektromotor. — Borel's elektromagnetischer Motor. — Bürgin's Elektromotor. — Kosten elektromotorischer Kraft

Seite

mit galvanischen Batterien als Stromerzeuger. — Kosten mit elektrischen Maschinen als Stromerzeuger.

III. Theorie der Umwandlung des Stromes in Arbeit . . 38

Joule's und Ohm's Gesetze und ihre Begründung. — Gesetze für die in einem bestimmten Punkte des Stromkreises zu erzeugende Wärme. — Unabhängigkeit der mechanischen Energie und des Nutzeffects eines Stromkreises von der Distanz, auf welche die Kraft übertragen werden soll.

IV. Theoretische Berechnungen in Bezug auf die Kraftübertragung auf grosse Entfernungen 51

Die Dicke der Drahtleitungen zur elektrischen Kraftübertragung. — Anwendung auf bestimmte Beispiele.

V. Die Anwendung der bisher für Kraftübertragung construirten elektrischen Maschinen und die Leistungen, welche man in der Praxis mit denselben erzielen kann 57

Die bisherigen Fundamentalsätze für die Erzeugung elektrischer Ströme und die aus neueren Forschungen resultirenden Abänderungen derselben. — Schädliche Wirkungen von Foucault'schen und ähnlichen Gegenströmen. — Abhängigkeit des Nutzeffects von der Tourenzahl der Armaturen. — Deprez' Berechnung der Leistungsfähigkeit der Gramme'schen Maschinen bei den Versuchen in Chatam. — Folgerungen daraus.

VI. Ueber elektrische Leitungen 74

Specifischer Widerstand verschiedener Metalle und Legirungen. — Felten & Guilleaume's Versuche. — Oberirdische Leitungen. — Drahtverbindungen. — Kupferstahldraht (compound telegraph wire). — Unterirdische Leitungen. — Deutsche Normalkabel. — Isolirmethoden von Brooks, Reddal, Lahye. — Berthoud & Borel's Kabel. — Isolirung von Siemens & Halske und Woodward. — Submarine Leitungen, Tiefmeer- und Küstenkabel.

VII. Die Fortleitung und Theilung des elektrischen Stromes 98

Bedingungen für eine Theilung des elektrischen Stromes. — Stromtheilungssystem von Gravier, Hospitalier, Maxim und Lane Fox. — Deprez' Theorie der Theilung und Regulation

Digitized by Google

Seite

des elektrischen Stromes. — Graphische Darstellung der elektromotorischen Kraft unter verschiedenen Bedingungen. (Charakteristische Curven.) — Folgerungen daraus. — Kann die charakteristische Curve praktisch einer Geraden gleichgesetzt werden? — Anwendung der Deprez'schen Theorie. — Einwände gegen die Anwendbarkeit der Deprez'schen Theorie.

VIII. Sprague's und Fröhlich's Ansichten über die Theilung des elektrischen Stromes 134

Sprague's Theorie. — Schlussfolgerungen aus derselben. — Definition der elektrischen Stromtheilung. — Fröhlich's Lehre von der Zweckmässigkeit einer vollkommenen Ausnützung der elektrischen Motoren. — Daraus abgeleitete Regeln für die elektrische Stromtheilung.

IX. Transformatoren und Accumulatoren 156

Kaufmann's Inductionsapparat. — Gravier's Doppelunterbrechungssystem für die Schaltung vieler Receptoren an dieselbe Stromquelle. — Planté's und Faure's Accumulatoren. — Versuche mit den Letzteren. — Secundär-Batterien von Kabath, Tommasi, Sellon-Volkmar, Jablochkoff. — Accumulatoren auf der Münchner Ausstellung. — Cabanella's Transformation.

X. Mittel zur Verringerung der Energieverluste bei der elektrischen Kraftübertragung 174

Verluste bei den Kraftmotoren. — Verluste bei den elektrischen Maschinen. — Vorzüge grosser elektrischer Maschinen. — Durchmesser des Leitungsdrahtes für bestimmte Stromstärken. — Weilemann's Kostenberechnungen. — Isolirung von Clarke, Henley, Latimer, Clark & Muirhead, Manly, Manly & Philipps, Parod, Ehrich und Brewtnall

XI. Praktische Anwendungen der elektrischen Kraftübertragung 192

Installation im Etablissement »A la belle Jardinière« in Paris. — Elektrische Kraftübertragung für Bergwerke und Fabriken. — Diverse kleinere Anwendungen. — Anwendungen in der Zuckerfabrik zu Sermaize, auf einem Gute in Noasiel,

Seite

im Magasin du Louvre. — Installation von Heilmann, Ducommun und Steinlen auf der Pariser Ausstellung. — Dupuy's elektrische Bahn für Bleichereizwecke. — Siemens & Halske's elektrische Bahnen in Düsseldorf, Berlin, Paris. — Edison's elektrische Eisenbahnbremse. — Elektrische Tramways in Paris. — Betriebskosten derselben. — Vortheile elektrischer Bahnen. — Neu projectirte elektrische Bahnen. — Elektrische Bahn: Mödling-Brühlthal. — Elektrische Briefpost. — Elektrischer Aufzug, Hammer, Krahn, Pumpe. — Elektrischer Schiffsbetrieb.

XII. Ueber die Rentabilität der elektrischen Kraftübertragung 224

Nutzeffect der Uebertragung. — Die Münchener Versuche. — Kostenberechnungen. — Letzte Ziele der elektrischen Kraftübertragungen. — Nachträgliches über Deprez' Versuche in München.

Index 238

Illustrations-Verzeichniss.

Seite

Titelbild: Installation elektrischer Kraftübertragung der Mühlhausener Firma Heilmann, Ducommun & Steinlen auf der Elektricitäts-Ausstellung in Paris.

Fig. 1. Vereinigung einer Maxim'schen Dynamomaschine mit dem Dampfmotor auf einem Fundamentrahmen 20
» 2. Froment's Elektromotor 29
» 3. Trouvé's Elektromotor 30
» 4. Trouvé's Elektromotor, eine Nähmaschine treibend . . . 31
» 5. Deprez' Elektromotor 33
» 6. Borel's elektromagnetischer Motor 34
» 7. Bürgin's Elektromotor 36
» 8. Derselbe in anderer Ansicht 36
» 9. Schematische Darstellung für Theorie der Umwandlung des Stromes in Arbeit 45
» 10. Verbindungen elektrischer Leitungsdrähte 81
» 11. Reddal's System elektrischer Leitungen im Strassenniveau 87
» 12. Berthoud & Borel's Kabel 92
» 13. Tiefmeerkabel 96
» 14. Querschnitt eines Küstenkabels 97
» 15. Charakteristische Curve der elektromotorischen Kraft einer Dynamomaschine 107
» 16. Charakteristische Curven für verschiedene Geschwindigkeiten 111
» 17. Charakteristische Curven für verschiedene Widerstände . 112
» 18. Charakteristische Curven für verschiedene Drahtwickelungen der inducirenden Magnete 114
» 19. Graphische Darstellung der Potentialdifferenz zweier Punkte des Stromkreises 115
» 20. Charakteristische Curve für selbsterregende Maschinen . 117
» 21. Graphische Darstellung der Deprez'schen Methode, die Stromstärke, resp. die Potentialdifferenz der Maschine constant zu erhalten 120

Seite

Fig. 22. Charakteristische Curve für constanten Widerstand im äusseren Stromkreise 125
» 23. Verzeichnung der charakteristischen Curve für constante äussere Stromstärke 127
» 24. Ableitung und Vertheilung des elektrischen Stromes . . 129
» 25. Deprez' Vertheilungssystem 130
» 26. Theilung von Zweigleitungen 131
» 27. Graphische Darstellung von Sprague's Stromtheilungs-System 135
» 28. Sprague's Curven für die elektromotorische Kraft und für den elektrischen Strom 138
» 29. Kaufmann's Inductionsapparat 157
» 30. Gravier's Doppelunterbrechungs-System 159
» 31. Automatische Regulirvorrichtung dazu 161
» 32. Secundäres Element der Société universelle d'Electricité Tommasi in Paris 167
» 33. Secundäres Element der Société générale d'Electricité Jablochkoff 168
» 34. Parod's Leitungssystem für grosse Entfernungen . . . 188
» 35. Ehrich's Stromleitung für elektrische Bahnen 189
» 36. Brewtnall's Isolirung der Verbindungen von Zweig- und Hauptdrähten 190
» 37. Dupuy's elektrische Bahn für Bleichereien 204
» 38. Elektrische Tramway in Paris 208
» 39. Edison's elektrische Eisenbahnbremse 210
» 40. Siemens & Halske's elektrische Briefpost 215
» 41. Siemens & Halske's elektrischer Aufzug 216
» 42. Hopkinson's elektrischer Krahn 219
» 43 u. 44. Elektrisches Schiff »Electricity« . . 220 u. 221

Elektrische Einheiten.

Mass-Einheiten, welche zu elektrischen Messungen dienen.

I. Die absoluten oder C. G. S. (Centimeter-Gramm-Secunde-) Einheiten.

1. Längeneinheit: 1 Centimeter.

2. Zeiteinheit: 1 Secunde.

3. Krafteinheit. Die Krafteinheit ist diejenige Kraft, welche für eine Secunde lang auf eine frei bewegliche Masse von dem Gewichte eines Grammes wirkend, dieser Masse eine Geschwindigkeit von 1 Centimeter per Secunde verleiht.

4. Die Arbeitseinheit ist die Arbeit, welche von der Krafteinheit verrichtet wird, wenn dieselbe die Entfernung von 1 Centimeter zurücklegt. Diese Einheit ist in Paris = 0·00101915 Centimeter-Gramm, oder mit andern Worten, um das Gewicht eines Grammes einen Centimeter hoch zu heben, sind 980.868 Krafteinheiten nöthig.

5. Die Einheit der elektrischen Quantität ist diejenige Quantität von Elektricität, welche auf eine gleich grosse Quantität, die einen Centimeter weit entfernt ist, eine Kraft gleich der Krafteinheit ausübt.

6. Die Einheit des Potentials oder der elektromotorischen Kraft existirt zwischen zwei Punkten, wenn die Einheit der elektrischen Quantität bei ihrer Bewegung von dem einen Punkte zum andern die Krafteinheit gebraucht, um die elektrische Abstossung zu überwinden.

7. Die Widerstandseinheit ist die Einheit, welche nur einer Quantitätseinheit den Uebergang zwischen zwei Punkten, zwischen welchen die Potentialeinheit existirt, in einer Secunde gestattet.

Digitized by Google

II. Die sogenannten praktischen Einheiten für elektrische Messungen.

1.	Weber,	Einheit der magnetischen Quantität	$= 10^8$	C. G. S.	Einheiten
2.	Ohm [1])	» des Widerstandes	$= 10^9$	»	»
3.	Volt [2])	» der elektromotor. Kraft	$= 10^8$	»	»
4.	Ampère [3])	» » Stromstärke	$= 10^{-1}$	»	»
5.	Coulomb	» » Quantität	$= 10^{-1}$	»	»
6.	Watt [4])	» » Kraft	$= 10^7$	»	»
7.	Farad	» » Capacität	$= 10^9$	»	»

[1]) 1 Ohm ist etwa gleich dem Widerstande von 48·5 Meter reinen Kupferdrahtes von einem Durchmesser von 1 Mm. bei einer Temperatur von 0° Celsius.

[2]) Ein Volt ist 5—10% weniger als die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes.

[3]) Der Strom, welcher durch die elektromotorische Krafteinheit, die Widerstandseinheit in einer Secunde zu durchfliessen im Stande ist, ist = 1 Amp.

[4]) 1 Watt = Ampère × Volt; 1 H P = $\frac{\text{Amp.} \times \text{Volt}}{746}$; 1 Cheval de vapeur = $\frac{\text{Amp.} \times \text{Volt.}}{735.}$

Einleitung.

Von der Kraftübertragung im Allgemeinen und der elektrischen Kraftübertragung insbesondere.

Die Ueberlegenheit des civilisirten Menschen gegenüber den Naturvölkern beruht in erster Linie auf genauer Kenntniss der Naturkräfte und auf der Fähigkeit, dieselben seinen Zwecken dienstbar zu machen. So viel aber auch in dieser Richtung schon erreicht ist, einen so hohen Aufwand von ernstem Studium und praktischem Scharfblick die neueren und besseren Erzeugnisse unserer Maschinenbau- und Ingenieurkunst auch bekunden, Grösseres ist noch zu vollbringen, gerade die wichtigsten und wirkungsreichsten Kräfte sind erst in geringem Masse oder gar nicht nutzbar gemacht worden. Wir erinnern nur an die ungeheuere Menge von Wärme, welche uns von der Sonne Jahr für Jahr gespendet wird und deren Effect man einem Verbrauch von 180 Billionen Tonnen Steinkohlen gleich schätzt, an die riesigen Kraftäusserungen der Sonne und des Mondes auf die Wassermassen der Erdoberfläche, welche sich in den Gezeiten, dem Phänomen der Ebbe und Fluth an unseren Meeresküsten zeigen. — Wir bezeichnen im Nachfolgenden als »Energie« alle Kundgebungen elementarer Naturkräfte, gleichviel, ob sie sich als Wärme

oder Elektricität, als chemische Verwandtschaft oder mechanische Arbeit zeigen, ob sie als wahrnehmbare oder kinetische Energie auftreten oder als latente, resp. ruhende, wie z. B. im Schiesspulver und Dynamit.

Aber es ist gar nicht nöthig, auf die grossartigen Einwirkungen anderer Weltkörper zu verweisen, es liegen andere Beispiele für unsere obige Behauptung viel näher. Welch' ungeheuere Kräfte repräsentirt die Bewegung des Wassers in unseren Gebirgsflüssen und grossen Strömen. Allein am Niagarafall in Nordamerika stürzen stündlich 100 Millionen Tonnen Wasser aus einer Höhe von 150 Fuss herab und entwickeln durchschnittlich 16,800.000 Pferdekräfte, welche jetzt keinen anderen Effect haben, als die Temperatur des Wassers am Fusse des Falles um den neunten Theil eines Grades zu erhöhen. Die Kohlenproduction der ganzen Erde würde kaum hinreichen, um diese Wassermasse wieder auf ihre frühere Höhe zu pumpen. — Wenn nun ein einzelner Wasserfall schon einen solch' bedeutenden Verlust an Energie repräsentirt, was wird dann auf der ganzen Erde im Durchschnitt verloren gehen? Mit Recht fragt Siemens: »Verträgt es sich wohl mit den Principien der Nutzbarmachung aller Naturkräfte, solche enormen Quantitäten von Energie fast ganz unbenützt zu lassen?«

Die hauptsächlichste Schwierigkeit einer Nutzbarmachung dieser Elementarkräfte liegt darin, dass sie meist, fast ausschliesslich, in gebirgigen öden Gegenden, fern von den Wohnsitzen des Menschen, von den Heimstätten grossartiger industrieller Thätigkeit auftreten, und nur in seltenen Fällen ist es möglich, letztere dorthin zu verlegen, wo billige Betriebskraft zu Gebote

steht. Man muss also darnach trachten, die Betriebskraft selbst fortzuleiten oder aber sie an Ort und Stelle in transportabler, leicht wieder nutzbar zu machender Form aufzuspeichern. Ersteres bewirkten unsere Vorfahren, namentlich für Zwecke des Bergbaues und Hüttenbetriebes oft in grossartigem, staunenerregendem Masse durch ihre Wasserleitungsbauten. Wer, um nur ein Beispiel anzuführen, die Oberharzer Wasserwirthschaft kennen gelernt und beobachtet hat, mit welchem Scharfblick man die geeignetsten Stellen für Anlage der vielen Hunderte von Sammelteichen auszuwählen verstanden, wie man von diesen das Aufschlagwasser in meilenlangen Grabentouren den höchst gelegenen Betriebsstätten zugeführt und von dort aus stufenweise in einer langen Reihe thalabwärts bis zur norddeutschen Ebene sich hinziehender und der fortschreitenden Verarbeitung der Erze und Metalle angepasster Betriebsstätten jeden Fuss des Wassergefälles ausgenützt hat, der wird den Erbauern dieser Wasserwerke seine Bewunderung über die genial concipirte und mit äusserster Oekonomie durchgeführte Ausnützung vorhandener Naturkräfte im Dienste der Industrie nicht versagen können.

Ein anderes Beispiel von Aufspeicherung und Ausnützung elementarer Kräfte liefern uns die Holländer mit ihren Windmühlen. Wer die Niederlande bereist hat, wird aus eigener Anschauung wissen, andere werden aus den zahlreichen Landschaftsbildern der holländischen Malerschulen gesehen haben, dass Windmühlen die immer wiederkehrende, charakteristische Staffage in allen Theilen des Landes bilden Aber nur ein kleiner Theil derselben wird direct zum Treiben des

Mühlsteins oder anderen gewerblichen Arbeiten verwendet, die weitaus grösste Zahl derselben schöpft Wasser aus den vielen, das Festland nach allen Richtungen durchschneidenden Canälen, und dieses wird zum Theil zum Bewässern der Aecker und Wiesen, zum Theil als Aufschlagwasser für Kleingewerbemotoren benützt.

So bewunderungswürdig uns nun aber diese, von unseren Vorfahren ersonnenen Methoden, sich die Naturkräfte dienstbar zu machen, auch erscheinen mögen, seit der Erfindung und allmählichen Verbesserung der Dampfmaschinen erscheinen sie immer mehr bei Seite geschoben oder ganz und gar verdrängt. Noch im Jahre 1866 gab es auf dem ganzen Oberharz keinen eigentlichen Dampfmaschinenbetrieb; hier und da stand im Winkel eine Aushilfsmaschine urältester Construction, welche höchstens ein- oder zweimal per Jahr in Fällen grossen Wassermangels in Betrieb gesetzt, vom echten Oberharzer aber mit unverhohlener Geringschätzung und vielleicht nicht ganz unverdientem Misstrauen betrachtet wurde. Heute aber dürften dort die Leistungen der Dampfmaschinen denen der Wassermotoren aller Art schon vollkommen gleich, wenn nicht überlegen sein, und an anderen, dem fossilen Brennmaterial leichter zugänglichen Stellen sind die alten Wasserräder mit Sammelteichen und Aufschlaggräben bereits ganz verschwunden. Es ist dies eine ganz natürliche Folge der bequemen Betriebsweise und der geringeren Anschaffungskosten der Dampfmotoren und des Umstandes, dass durch die verbesserten Transportanstalten Steinkohle um billigen Preis nach allen Punkten der civilisirten Welt geschafft werden kann.

Wenngleich nun auch der im Schoss der Erde aufgespeicherte Vorrath von Steinkohlen sehr bedeutend ist und alljährlich neue Fundorte erschlossen werden, so unterliegt es doch keinem Zweifel, dass derselbe nicht unerschöpflich ist, sondern, wenn auch nicht zu unseren Lebzeiten, so doch, bei unseren täglich wachsenden Bedürfnissen, nach verhältnissmässig kurzer Frist aufgebraucht werden, lange Jahre vorher aber in Folge der allmählichen Abnahme ganz bedeutend im Preise steigen wird. Districte mit hochentwickelter Industrie und demzufolge dichter Bevölkerung werden diesen Uebelstand am ersten empfinden, und es erscheint, ganz abgesehen vom wissenschaftlichen Interesse, auch vom praktischen Standpunkte aus keineswegs müssig, schon bei Zeiten zu überlegen, welche Mittel uns zu Gebote stehen, um, nach dem Verbrauch der in den Steinkohlen aufgespeicherten Energie, uns die von der Natur gebotene kinetische Energie nutzbar zu machen, und ob nicht jetzt schon in manchen Fällen die Anwendung dieser Mittel zweckmässig sein würde.

Die oben berührten Methoden unserer Vorfahren, sich Naturkräfte nutzbar zu machen, lassen sich ihrer Schwerfälligkeit und hohen Kosten halber nur auf geringe Entfernungen anwenden und auch die Verpflanzung von Energie durch andere in der Neuzeit vorgeschlagene hydraulische Apparate oder durch comprimirte Luft empfiehlt sich aus den gleichen Gründen und der mit der Entfernung rasch wachsenden Kraftverluste halber, nur für besondere Zwecke, z. B. die pneumatische Depeschen-, Brief- und Paquetbeförderung. Dagegen bietet uns der elektrische Strom ein ganz vorzügliches Hilfs-

mittel, Energie von einem Orte, an dem sie billig oder bequem zu haben ist, auf beliebige Entfernung nach einem anderen Orte zu übertragen, wo man sie braucht, und diese Methode, die elektrische Kraftübertragung und ihre Anwendung in der Praxis, ist es, welche uns in den nachfolgenden Blättern beschäftigen soll.

Als elektrische Kraftübertragung im weitesten Sinne kann man alle jene Fälle bezeichnen, in denen der elektrische Strom dazu dient, irgend eine Form von Energie von einem Orte nach einem andern zu übertragen, um sie dort in ihrer ursprünglichen, oder einer beliebigen anderen Form auftreten zu lassen. Ein Beispiel des ersten Falles ist die Benützung galvanischer Batterien bei der Galvanoplastik; denn hier wird die chemische Energie der galvanischen Elemente in elektrischen Strom verwandelt, pflanzt sich als solcher durch die Leitungsdrähte fort und erscheint alsdann wiederum im galvanoplastischen Bade als chemische Energie; der zweite Fall tritt ein, wenn man die chemische Energie der Batterie durch die Leitungsdrähte als elektrischen Strom sendet und am anderen Ende der Leitung, in elektrischen Lampen z. B., als strahlende Energie wieder erscheinen lässt.

In beiden Fällen haben wir eine Kraftübertragung, jedoch nicht die Kraftübertragung im engeren Sinne, d. h. nicht die Uebertragung von mechanischer Energie. Letztere umfasst nur diejenigen Fälle, in welchen mechanische Energie vermittelst des elektrischen Stromes an einem Orte nutzbar gemacht wird, der von der Stätte, wo sie erzeugt wurde, entfernt ist, und zwar werden wir uns in diesem Bande hauptsächlich mit allen den Mitteln beschäftigen, durch welche die an einem Ende

der Leitung erzeugte mechanische Energie am anderen Ende der Leitung wiederum als mechanische Energie auftritt, während solche Fälle, in denen dieselbe in chemische oder strahlende Energie verwandelt wird, nur oberflächlich berücksichtigt werden sollen.

Die einfachste und bekannteste Form der mechanischen Kraftübertragung ist vielleicht das Telegraphiren mittelst elektrischer Maschinen. Bei dieser Operation wird nämlich die mechanische Energie, welche dazu dient, die Armatur der Maschine vor den inducirenden Magneten rotiren zu lassen, in elektrischen Strom umgewandelt, dieser durcheilt beim Schliessen des Stromkreises die Telegraphendrähte, umfliesst alsdann die Elektromagnete des Telegraphen-Apparates und zieht ein Stück Eisen an, welches im Morse-Schreibapparat z. B. einen mechanischen Druck auf einen Papierstreifen ausübt und auf diese Weise das telegraphische Zeichen producirt.

Ein ähnlicher Fall von mechanischer Kraftübertragung tritt auf in allen Läutewerken, Eisenbahn-Signalapparaten, elektrischen Auslösungen u. s. w., in denen man die mechanische Energie einer von denselben entfernten Maschine dazu benützt, einen Klöppel, einen Hebel, einen Zeiger u. s. w. in Bewegung zu setzen. Da zu diesen und ähnlichen kleinen Umwandlungen des elektrischen Stromes in Energie jedoch meistens die chemische Energie einer Batterie und nicht die mechanische Energie einer dynamoelektrischen oder magnetelektrischen Maschine benutzt wird, so werden dieselben hier ebenfalls nur nebenher berührt und zugleich mit den galvanischen Batterien und ihren An-

wendungen in einem anderen Bande der »Elektrotechnischen Bibliothek« beschrieben werden.

Ein Beispiel elektrischer Kraftübertragung im oben specificirten engeren Sinne liefert die bekannte elektrische Eisenbahn von Siemens & Halske in Berlin. Bei dieser geht der elektrische Strom, welchen eine grosse, fest aufgestellte Dampfmaschine durch Umdrehung einer dynamoelektrischen Maschine erzeugt, nach den von einander isolirten Schienen eines auf eisernen Pfeilern ruhenden Geleises. Von hier tritt er durch die eisernen Räder des Personenwagens in die Drahtwindungen einer zweiten elektrodynamischen Maschine, welche unter dem Boden des Wagens angebracht ist; indem diese, jetzt als elektromagnetische Kraftmaschine wirkend, in Umdrehung geräth und mittelst Riemenscheiben die Triebräder in Bewegung setzt, rollt der Wagen mit Locomotiv-Geschwindigkeit dem Geleise entlang.

Auf andere praktisch ausgeführte Verwendungen elektrisch übertragener Kraft, z. B. das Entladen von Schiffen mit elektrischen Hebeapparaten, wie es in Sermaize, die Bodenbearbeitung mittelst elektrisch betriebener Pflüge, wie sie an verschiedenen Orten und kürzlich erst zu Lundenburg in Mähren, den Betrieb von Werkzeugmaschinen, wie er in Greenwich mit gutem Erfolg ausgeführt worden etc. etc., werden wir in einem späteren Abschnitt dieses Buches zurückkommen und jetzt nur noch einen Blick auf die letzten Ziele der elektrischen Kraftübertragung werfen. Theoretisch liegt nach dem heutigen Standpunkt der Elektrotechnik kein Hinderniss vor — an Orten, wo starke bisher unbe-

nützte Wasserkräfte vorhanden, dieselben durch geeignete Motoren zu leiten, in windreichen Gegenden Windmühlen in grosser Zahl aufzustellen, in den Centren der Steinkohlenbergbau-Districte Centralstationen mit ganzen Batterien von Dampfkesseln und mächtigen Dampfmaschinen vorzüglichster Construction anzulegen, die Wärmestrahlen der Sonne mit grossen Brenngläsern zu concentriren und zum Heizen von Dampfkesseln, calorischen Maschinen etc. zu benützen u. s. w. — die ganze so gewonnene mechanische Energie durch dynamo-elektrische Maschinen von den praktisch bewährtesten Dimensionen und Systemen in elektrische Ströme umzusetzen, diese letzteren entweder direct durch gut isolirte Drähte von entsprechender Stärke zu den Wohnsitzen der Menschen, nach den Mittelpunkten industrieller Thätigkeit fortzuleiten und dort an einer beliebig grossen Anzahl von Stellen zur Verrichtung mechanischer Arbeit, zu Beleuchtungszwecken, zum Eisen- und Metallerhitzen, Schmelzen, zum Kochen und Braten, kurz für alle erdenkbaren Zwecke gewerblicher oder häuslicher Thätigkeit zu benützen — oder aber mit Hilfe von Accumulatoren oder Secundär-Batterien, die kinetische, lebendige Energie der elektrischen Ströme in latente, ruhende Energie umzuwandeln, die dann zu beliebiger Zeit und an beliebigem anderen Orte wieder zu den oben aufgezählten Dienstleistungen verwendet werden kann.

Zweck der nachfolgenden Blätter ist es aber, die uns zur Erreichung obiger Ziele heute zu Gebote stehenden Vorrichtungen zu betrachten, ihre Leistungen und Mängel zu prüfen und die Mittel und Wege auf-

zusuchen, durch welche es uns möglich sein wird, erstere zu steigern und letztere thunlichst zu beseitigen.

Bei allen vorstehend angeführten und weiterhin zu beschreibenden praktischen Anwendungen elektrischer Kraftübertragung lassen sich folgende Hauptfactoren unterscheiden: 1. Die zur elektrischen Kraftübertragung geeigneten Naturkräfte und Stoffe und die zur Aufnahme der mechanischen Energie geeigneten Maschinen (Motoren oder Krafterzeuger). — 2. Die zur Umwandlung der mechanischen Energie in elektrische Ströme dienenden Maschinen (dynamo- oder magnetelektrische Maschinen). — 3. Die zur Fortpflanzung oder Aufspeicherung dienenden Vorrichtungen (elektrische Leitungen und Accumulatoren). — 4. Die zur Wiederumwandlung des elektrischen Stromes in mechanische Energie dienenden Endmaschinen (Elektromotoren), und in dieser Reihenfolge wollen wir bei unseren weiteren Betrachtungen vorgehen.

I.

Naturkräfte und Krafterzeugungs-Maschinen, welche sich für elektrische Kraftübertragung eignen.

Wie wir schon in der Einleitung sahen, zerfällt die uns zu Gebote stehende »Energie«, Wirkungsfähigkeit der Naturkräfte, in latente, ruhende oder potentielle Energie, Energie der Lage und in kinetische, thätige

oder actuelle Energie, Energie der Bewegung. Von ersterer Gattung ist für unsere Zwecke eigentlich nur die in den Brennmaterialien, insbesondere den Steinkohlen aufgespeicherte Energie der Wärme von Bedeutung, indem wir mit ihrer Hilfe Dampfmaschinen, Gasmaschinen, Heissluftmaschinen etc. in Bewegung setzen. Theoretisch kann 1 Kg. Steinkohle mit dem durchschnittlichen Gehalt an Feuchtigkeit, Asche und absorbirter Kohlensäure bei vollkommener Verbrennung 12.000 Wärmeeinheiten entwickeln, und eine Wärmeeinheit entspricht 424 Kg.-Mtr. mechanischer Arbeit; in Wirklichkeit aber erzielen wir mit unseren besten Dampfkesselsystemen und vollkommensten Dampfmaschinen nur etwa den neunten Theil dieser letzteren. Die anderen acht Neuntel gehen theils durch die unvollständige Verbrennung des Heizmaterials der Dampfkessel, theils durch das Entweichen heisser Verbrennungsproducte im Schornstein, durch die unvollkommene Ausnützung der Dampfkraft in unseren Maschinen, Reibungswiderstände der Bewegungsmechanismen etc. etc. verloren. Aehnliche Verluste ergeben sich beim Betriebe der Gasmotoren und Heissluftmaschinen.

Von den verschiedenen heute in Gebrauch stehenden Dampfkesselsystemen werden die einfachen Cylinder- oder Walzenkessel selten für directe Dampferzeugung benützt, weil das zu erhitzende Wasserquantum im Verhältniss zur Heizfläche sehr bedeutend ist. Besser eignen sich Siederohr- oder Bouilleur- und Flammrohrkessel für rasche und massenhafte Dampferzeugung. Noch vorzüglichere Resultate erzielt man mit Innenfeuerungskesseln, insbesondere Cornwallkesseln und einzelnen neueren combinirten Dampfkesselsystemen; doch erfordern

die letzteren sehr reines Speisewasser, und wo dies nicht vorhanden, stellen sich sehr bald kostspielige Reparaturen ein. Von den verbesserten Feuerungssystemen hat sich namentlich die Ten-Brinckfeuerung als leistungsfähig und ökonomisch bewährt. — Was die in der Dampfmaschine benützte Spannung betrifft, so hat es sich als vortheilhaft herausgestellt, einen möglichst hohen Dampfdruck mit starker Expansion in Anwendung zu bringen, weil die Umwandlung des Wassers in Dampf die bei weitem grösste Wärmemenge, die Drucksteigerung aber verhältnissmässig nur wenig Wärmezuschuss erfordert. Sehr starkem Druck gegenüber sind aber die Kolben nur schwer und auf die Dauer gar nicht abzudichten und dadurch entsteht natürlich Dampfverlust; letzterer wird am besten vermindert durch Anwendung von Woolf'schen oder Compoundmaschinen, weil bei diesen der im Hochdruck-Cylinder durchblasende Dampf doch noch im Niederdruck-Cylinder ausgenützt wird. Ausserdem kann man in diesen Maschinen die Expansion im höchsten Masse zur Ausnützung bringen, ohne einen unruhigen Gang befürchten zu müssen, wie derselbe bei eincylindrigen Expansionsmaschinen wegen der starken Druckdifferenz leicht eintritt. Aus diesen Gründen dürften diese Dampfmaschinen auch für die Zwecke elektrischer Kraftübertragung am meisten zu empfehlen sein.

Dann passen für unsere Zwecke aber auch ganz vorzüglich die extra zum Betriebe elektrischer Maschinen construirten Brotherhood-Motoren mit drei Cylindern.

Dieselben haben den grossen Vortheil einer sehr bedeutenden Rotations-Geschwindigkeit, eignen sich daher

sehr gut zu directen Verbindungen mit den elektrischen Motoren, nehmen einen geringen Raum ein, arbeiten ruhig und ohne störende Vibrationen zu veranlassen. Die Brotherhood-Motoren können durch Dampf, Wasser oder comprimirte Luft betrieben werden. Die Rotations-Geschwindigkeit beträgt bei Anwendung von Wasser bei 50 Atmosphären 80 Umdrehungen per Minute, bei Anwendung von Dampf mit 1 Atmosphäre Druck 950 Umdrehungen, mit condensirter Luft von 45 Atmosphären 2000 Umdrehungen.

Jeder der drei Cylinder, welche in Abständen von 120 Grad von einander auf derselben Welle befestigt sind, hat einen Durchmesser von 18 Centimeter und einen Kolbenweg von 15 Centimeter. Die ganze Maschine wiegt nur 510 Kg. und giebt bei einer Rotations-Geschwindigkeit von 300 Umdrehungen eine Arbeit von 20 Pferdekräften.

Gute Motoren sind auch die von Dolgorouki in Russland und von Grass & Schneider, welche letzteren in Verbindung mit Siemens' Maschinen auf der letztjährigen Pariser Ausstellung zu sehen waren. Diese Motoren verbrauchen eine etwas grössere Betriebskraft als die Brotherhood-Motoren, nehmen jedoch noch weniger Raum ein und arbeiten sehr regelmässig.

Heissluft- und Petroleummotoren dürften wohl nur in seltenen Fällen für den Betrieb elektrodynamischer Maschinen zum Zwecke der elektrischen Kraftübertragung Anwendung finden; die letzt genannten in grösserem Massstabe allenfalls in Pennsylvanien und anderen Erdöldistricten. Dagegen werden Gasmaschinen jetzt schon ihrer bequemen Betriebsweise halber mit

grosser Vorliebe für elektrische Kraftübertragung zu Beleuchtungszwecken etc. angewandt, und wenn einmal rationelle und ökonomisch befriedigende Darstellungsmethoden für das, mit einiger Berechtigung als »Brennstoff der Zukunft« bezeichnete Wassergas aufgefunden sind, dürften Gasmotoren von der allergrössten Bedeutung für die Zwecke elektrischer Kraftübertragung werden. Von den verschiedenen Systemen eignet sich besonders Otto's Motor zu Ausführung in grösserem Massstabe; doch findet nur für je zwei Stösse des Pistons eine Explosion statt und die Bewegung ist daher eine sehr unegale; die Otto'schen Motoren mit zwei Cylindern, welche eine Arbeit von 25 Pferdekräften erzeugen, sind allerdings brauchbarer.

Diejenigen Gasmotoren, welche sich vielleicht noch am Besten für den Betrieb elektrischer Motoren eignen, sind die Clarke'schen, in denen für jede Umdrehung je eine Explosion stattfindet. Diese Motoren arbeiten recht regelmässig, wie man auf der Pariser Ausstellung sehen konnte, wo ein solcher eine Arbeit von 10 Pferdekräften entwickelte.

Von kinetischer Energie kommt für unsere Zwecke nur die lebendige Kraft der Luftströmungen, der Wind, und die Bewegung des Wassers in Frage. Erstere wird ausgenützt durch Anwendung von Rädern, welche einen Theil der lebendigen Kraft des gegen sie stossenden Windes aufnehmen und auf eine dadurch in Umdrehung versetzte Welle übertragen. Da die Richtung des Windes eine veränderliche ist, muss die Unterstützung des Rades um eine verticale Axe drehbar sein, um das Rad jederzeit in die günstigste Stellung gegen den Wind bringen

zu können. Bei der deutschen oder Bockmühle ist das ganze Gebäude, bei der holländischen oder Thurmmühle nur der oberste Theil, die Haube, drehbar. Weit vollkommener sind die amerikanischen Windmühlen, insbesondere Halladay's Construction, welche mittelst einer eigenthümlichen Vorrichtung ermöglicht, dass sich die Windräder nicht nur jeder Windrichtung, sondern auch jeder Windstärke gemäss einstellen, so dass die effectiv auf die Windflügel ausgeübte Kraft sich stets gleich bleibt und also eine für unsere Zwecke wichtige stets gleichmässige Leistung erreicht wird. Der Vortheil, dass die Betriebskraft des Windes gar nichts und die Herstellung der Maschinerie zu ihrer Ausnützung nur wenig kostet und gar keiner Beaufsichtigung bedarf, wird den Windmühlen in offenen Gegenden mit regelmässigen Windströmungen immer eine ausgedehnte Anwendung sichern, und wir zweifeln nicht, dass sie in manchen Fällen auch für die elektrische Kraftübertragung von Bedeutung sein werden.

An für unsere Zwecke benützbaren Wasserkräften sind zu unterscheiden, die Triebkraft des freien Stromes unserer Flüsse, die Schwerkraft des Wassers bei künstlichen Gefällen oder natürlichen Wasserfällen und die in Ebbe und Fluth auftretende Einwirkung von Sonne und Mond auf das Weltmeer. Die Kraft des fliessenden Wassers im freien Strome ist schon in den ältesten Zeiten benützt worden, indem man, wie bei den heute noch in Gebrauch stehenden Schiffmühlen Räder mit breiten, flachen, geraden Schaufeln in das Wasser hängt und die durch Drehung derselben von ihren Axen aufgenommene Kraft in üblicher Weise fortleitet und aus-

nützt. Man hat diese einfachen und nur einen geringen Theil der Kraft verwerthenden Vorrichtungen vielfach ohne besonderen Erfolg zu verbessern gesucht, aber auch in ihrer jetzigen Gestalt geben sie bei breiten Flüssen mit rascher Strömung oft ein wohlfeiles Mittel zur Erlangung constanter Betriebskraft. Besseren Effect hat die Ausnützung wenn auch nur kleiner Gefälle auf unterschlächtigen, insbesondere Ponceleträdern. Erstere geben 30—35, letztere bei 0·5—1·5 Mtr. Gefälle bis zu 60% der natürlich vorhandenen Wasserkraft ab. Für Gefälle von 1·5—2·5 Mtr. und Wassermengen von 0·3—2·5 Kbmtr. per Secunde eignen sich Kropfräder, für höhere Gefälle rück- oder mittelschlächtige Räder, für ganz hohe Gefälle endlich von 3—12 und mehr Mtr. und kleine Wassermengen von 0·3—0·8 Kbmtr. sind oberschlächtige Wasserräder vorzuziehen; doch nimmt man von 10—100 Mtr. Gefälle und grösseren Wassermassen fast ausschliesslich horizontale Wasserräder oder Turbinen, welche man als Actions- oder Druckturbinen bezeichnet, wenn die mechanische Arbeit ausschliesslich aus der lebendigen Kraft des Wassers, d. h. nur durch Verwerthung von dessen Geschwindigkeit gewonnen, als Reactions- oder Gegendruckturbinen, wenn zwar auch zum Theil die lebendige Kraft, in der Hauptsache aber der Druck des Wassers wirksam wird.

Für Zwecke der elektrischen Kraftübertragung sind zwar alle Arten von Wasserrädern verwendbar, doch dürften die Turbinen wegen ihres vorzüglichen Nutzeffectes sowohl bei künstlich hergestellten als auch natürlichen Wasserfällen die grössere Zukunft haben.

Wassersäul-Maschinen und Wasserdruck-Motoren eignen sich für unsere Zwecke nicht, weil die geradlinige Bewegung derselben erst in rotirende umgesetzt werden müsste, was nicht ohne Krafteinbusse möglich, und die letztgenannten Motoren auch deshalb nicht, weil sie bisher nur in kleinen Dimensionen ausgeführt werden.

Ueber die Nutzbarmachung der Ebbe und Fluth stellt Siemens folgende interessante Betrachtungen an. An den Meeresufern, resp. in den Buchten, müssten grosse Becken oder Reservoirs angebracht werden, die während der Fluth gefüllt, und zur Ebbezeit ihres Inhaltes wieder entleert würden. Am besten kann die Kraft des ein- und ausfliessenden Wasserstromes mit Hilfe von Turbinen für niederes Gefälle in unseren Dienst gezogen werden. Nehmen wir das thatsächliche Steigen der Fluth auf 12 Fuss an, so würden 8 Fuss während der halben Zeit des Steigens oder Fallens verfügbar sein, was einer effectiven Druckhöhe von 4 Fuss während der 20 Stunden gleichkommt. Welches ist hiernach die Kraft, die je ein Morgen der Wasserfläche ergeben würde? Ein Morgen umfasst 43.560 Quadratfuss und das Gewicht des Seewassers beträgt 64 Pfund per Kubikfuss. Multiplicirt man diese Zahlen mit der Höhe des Falles und dividirt das Product durch das Aequivalent einer Pferdekraft, so ergiebt sich, dass 5—6 Pferdekräfte die effective Kraft eines Morgens eingeschlossenen Seewassers sind. Wenn wir aber die bedeutenden Kosten in Betracht ziehen, welche die Construction solcher Bassins verursachen würde, wenn wir ferner den grossen Werth bedenken, den die Buchten, resp. geschützten Stellen der Meeresufer, wo allein die Construction

solcher Bassins thunlich wäre, für andere Zwecke besitzen, so begreifen wir leicht, dass die Nutzbarmachung der Fluth ebenso kostspielig, wie durch natürliche Hemmnisse begrenzt ist. Obgleich die Kraft selbst anscheinend ohne Ausgaben erlangt würde, so zeigen sich doch so schwerwiegende Nachtheile in der jeweiligen Unterbrechung der Zuführung von Kraft, in der Verzinsung der Auslagen, den Unterhaltungskosten und in der Neigung solcher Bassins zu versanden, dass wir die Ausbeutung dieser Quelle natürlicher Kraft vorläufig wohl kaum in ernstliche Aussicht zu nehmen brauchen.

Dasselbe Urtheil dürfte auch von einer directen Verwerthung der Heizkraft der Sonne mit Hilfe grosser Brenngläser zum Heizen von Dampfkesseln oder zum Erwärmen von Luft für calorische Maschinen gelten. So interessant die neueren Versuche, namentlich der Franzosen in Algier und der Sahara, auch sind, die ökonomischen Resultate waren bisher so ungünstig, dass von einer Nutzanwendung für industrielle Zwecke im Allgemeinen und für elektrische Kraftübertragung insbesondere keine Rede sein kann.

Es kommen also als Krafterzeugungs-Maschinen für unsere Zwecke nur Windräder, Wasserräder, Turbinen, Gasmotoren und Dampfmaschinen in Betracht; dieselben müssen ihre Kraft in um eine horizontale Axe rotirender Form und möglichst gleichmässig an die dynamo- und magnetelektrischen Maschinen abgeben.

Selbst die am regelmässigsten arbeitenden Motoren jedoch geben nur dann in Verbindung mit elektrischen Maschinen ihren vollen Nutzen ab, wenn die

Digitized by Google

Verbindung zwischen den beiden Motoren eine innige und unveränderliche ist. Treibriemen sind nicht anzuwenden, wo es sich vermeiden lässt, da eine jede Verschiebung des Treibriemens eine Variation des Stromes der elektrischen Maschinen verursacht. Am besten ist es, womöglich die Axe des Elektromotors mit dem Betriebsmotor direct zu verbinden, und die direct wirkenden Dampfmaschinen kommen für die elektrischen Motoren immer mehr und mehr in Anwendung.

So hat Edison seine grossen Maschinen mit den Dampfmaschinen auf einem und demselben Sockel vereinigt und auch Maxim hat eine Maschine construirt, welche mit seiner Dynamomaschine direct verbunden ist und als ein Typus derartiger direct verbundener Maschinen gelten kann. Die Maschine (Fig. 1) besitzt, wie die »Zeitschrift für angewandte Elektricitätslehre« (Bd. IV., Nr. 13) angiebt, zwei in derselben Ebene aufgestellte Cylinder, von denen je einer auf der einen und anderen Seite der Welle liegt. Mit der letzteren sind sie in solcher Weise verbunden, dass beide sich gleichzeitig nach derselben hin- und von ihr fortbewegen. Auf diese Weise ist es erreicht, dass der Schwerpunkt der rotirenden Theile innerhalb der Wellenmitte liegt. Die Tangentialkraft des einen Stückes hebt also die des andern auf. Ebenso wird auch der Lagerdruck theilweise beseitigt. Diese Eigenschaften ermöglichen eine grosse Rotations-Geschwindigkeit der Maschine.

Der Cylinder-Durchmesser beträgt 125 Mm., der Kolbenweg 75, die Rotations-Geschwindigkeit 1000 Umdrehungen per Minute. Der Regulator ist am Ende der Kurbelaxe befestigt, welche zu diesem Zwecke über

die Lager hinaus verlängert ist. Das zur Regulirung dienende Drosselventil ist in der Mitte eines T-Rohres angeordnet, welches zur Dampfzuführung dient.

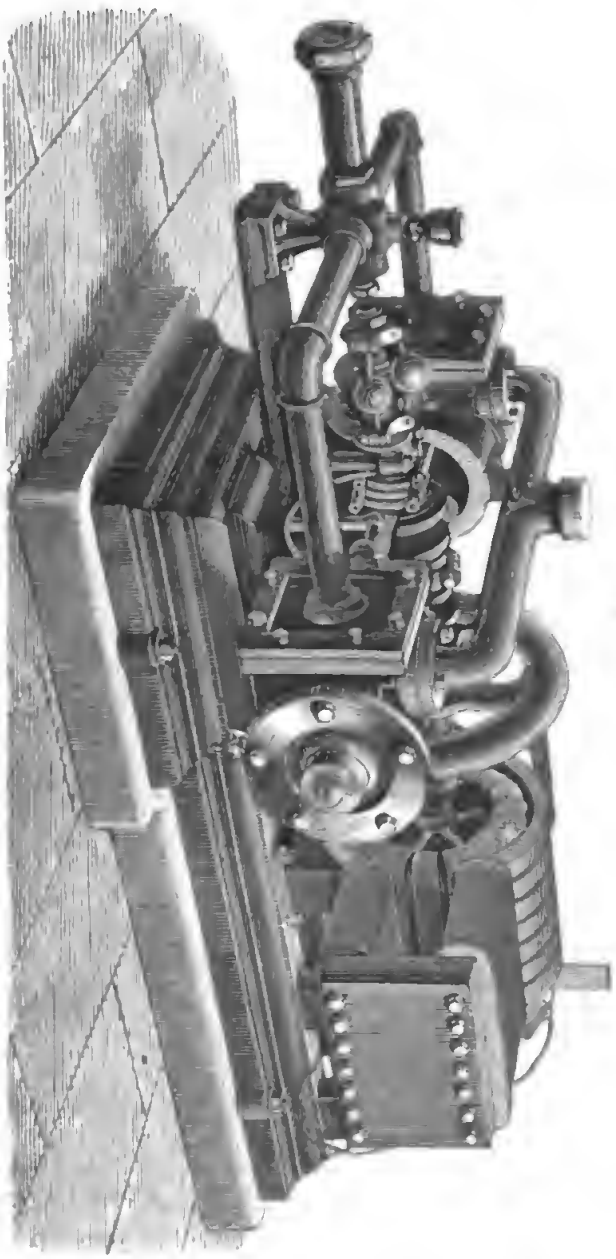


Fig. 1.

In der Figur ist die Maschine mit einer Maximschen Dynamomaschine verbunden.

Durch Anwendung solcher direct verbundenen Maschinen wird die Uebertragung der Betriebskraft auf die elektrischen Maschinen sehr erleichtert, und wird sich besonders bei den grossen Maschinen, die man in Zukunft zum Zwecke der Kraftübertragung construiren wird, eine directe Verbindung mit den Betriebsmotoren als praktisch erweisen.

Digitized by Google

II.

Elektrische Maschinen zur Stromerzeugung und Elektromotoren.

Bezüglich der Theorie, der historischen Entwickelung und der Construction von elektrischen Maschinen im Allgemeinen, müssen wir auf den ersten Band der »Elektrotechnischen Bibliothek« verweisen und uns hier auf eine kurze Recapitulation des Principes der beiden Hauptgattungen beschränken.

Magnetelektrische Maschinen beruhen auf der Erfahrung, dass Magnete in geschlossenen Leitungsdrähten, wenn sie in deren Nähe bewegt werden, elektrische Ströme hervorrufen (induciren), welche denselben Gesetzen unterworfen sind, wie die von wirklichen Stromleitern erzeugten Inductionsströme. Schiebt man z. B. in eine hohle Drahtspindel, deren Drahtenden durch ein Galvanometer geschlossen sind, einen Magnetstab ein, so zeigt die Ablenkung der Magnetnadel des Galvanometers sofort einen, die Drahtwindungen durchfliessenden Strom an, welcher die entgegengesetzte Richtung hat wie die Ströme, von denen wir nach Ampère's Theorie annehmen, dass sie den Magnet umkreisen. Dieser »inducirte« Strom dauert aber nur so lange als der Magnet in Bewegung ist; bleibt derselbe ruhig innerhalb der Spule, so kehrt die Nadel nach einigen Schwingungen in ihre Ruhelage zurück. Zieht man jetzt den Magnet wieder aus der Spule

heraus, so entsteht in letzterer ein ebenfalls nur ganz kurz dauernder Strom, welcher mit den um den Magnet kreisenden Strömen gleich gerichtet ist und daher die Magnetnadel nach der entgegengesetzten Seite wie vorhin ablenkt. Der beim Annähern des Magnets inducirte Strom wirkt nach den Gesetzen der Elektrodynamik abstossend auf den Magnet, der beim Entfernen inducirte dagegen anziehend; der Inductionsstrom setzt aber der jeweiligen Bewegung des Magnets einen Widerstand entgegen, zu dessen Ueberwindung eine gewisse Arbeitsmenge aufgewendet werden muss, welcher die Energie des erzeugten Inductionsstromes entspricht.

Statt nun den Magnetstab in die Drahtspule hineinzuschieben und wieder herauszuziehen, kann man auch die Höhlung der Spirale mit einem Stab von weichem Eisen ausfüllen, welcher durch Annäherung und Entfernen eines Magnetpols abwechselnd magnetisch und wieder unmagnetisch gemacht wird. Daher giebt man mit Vortheil sowohl dem Stahlmagnet als auch dem Eisenkern die Gestalt eines Hufeisens, auf dessen Schenkel bei letzterem zwei mit einander verbundene Drahtspulen aufgeschoben sind, und bewirkt die abwechselnde Annäherung und Entfernung der Magnetpole dadurch, dass man entweder den Magnet oder besser den Eisenkern um die mit seinen Schenkeln parallele Mittellinie dreht. Wenn auf diese Weise der Eisenkern in rasche Umdrehung versetzt wird, so werden die ihn umgebenden Drahtwindungen von abwechselnd entgegengesetzten Strömen durchlaufen, deren Richtung sich jedesmal umkehrt, wenn die Pole des weichen Eisens den Magnetpolen gegenüberstehen.

Um dem in den Drahtspulen abwechselnd entgegengesetzt gerichteten Strom im Schliessungsdraht die gleiche Richtung zu geben, wird auf der Drehungsaxe ein Stromwechsler oder Commutator eingeschaltet, auf dessen Construction wir hier nicht näher eingehen können.

Wenn man die ungleichnamigen Pole zweier Elektromagnete, deren Windungen Theile desselben Schliessungskreises bilden, von einander entfernt, so wird in den Windungen ein Strom inducirt, welcher vermöge seiner elektrodynamischen Wirkung die entgegengesetzte Wirkung hervorzubringen sucht, also die sich ohnehin anziehenden Pole zu nähern strebt. Dieser inducirte Strom ist daher mit dem bereits vorhandenen gleich gerichtet und verstärkt denselben. Da diese Verstärkung des Stromes auch eine Verstärkung des Magnetismus des Elektromagnets und sonach auch eine Verstärkung seiner inducirenden Wirkung zur Folge hat, so nimmt die Stromstärke, wenn jene Bewegung fortgesetzt wird, in rascher Steigerung bis zu einer gewissen Grenze zu, so dass ohne Verminderung der Wirkung die Stromquelle, welche den ursprünglichen Strom lieferte und die Eisenkerne magnetisch machte, ausgeschaltet oder sogar vom Anfang an weggelassen werden kann, da der geringe Magnetismus, welcher den Eisenkernen anhaftet, genügt, um die Wirkung einzuleiten. Auf diesem Verhalten beruhen die von W. Siemens erfundenen und zu grosser Vollkommenheit gebrachten dynamoelektrischen Maschinen, welche sich von den magnetelektrischen dadurch unterscheiden, dass bei letzteren ein Stahlmagnet von bestimmtem Magnetismus, bei ersteren dagegen ein Elektromagnet zur Anwendung

kommt, dessen Magnetismus mit der Drehungs-Geschwindigkeit zunimmt.

Da die in den Drahtwindungen einer magnet- oder dynamoelektrischen Maschine hervorgerufenen Ströme vermöge der zwischen ihnen und dem inducirenden Magnet stattfindenden Anziehung der Bewegung hemmend entgegenwirken, so muss zur Ueberwindung dieses Widerstandes Arbeit aufgewendet werden; diese Arbeit eben ist es, welche durch die elektrische Maschine in Energie strömender Elektricität umgewandelt wird. Wird die Maschine durch einen Metalldraht geschlossen, so erhitzt sich der Draht, indem die im Strom sich vereinigenden Elektricitäten sich in Wärme verwandeln, deren Menge der Energie des Stromes oder der zu seiner Erzeugung verbrauchten Arbeit äquivalent ist. Ist jedoch eine mit angesäuertem Wasser gefüllte Zersetzungsstelle in den Schliessungskreis eingeschaltet, so entsteht eine geringere Wärmemenge; dafür wird aber chemische Arbeit geleistet, indem ein Theil des Wassers in seine einfachen Bestandtheile, Sauerstoff und Wasserstoff, zerlegt wird. Diese Arbeit befindet sich als Spannungsenergie (potentielle, latente oder ruhende Energie) in den getrennten Bestandtheilen gleichsam aufgespeichert und kommt als Wärme wieder zum Vorschein, wenn diese sich wieder mit einander zu Wasser vereinigen, d. h. wenn der Wasserstoff verbrennt; die Verbrennungswärme des entwickelten Wasserstoffes ist nämlich der im Schliessungskreise vermissten Wärme genau gleich.

Leitet man endlich — und das ist der für uns in Betracht kommende Fall — den Strom durch die

Drahtwindungen einer elektromagnetischen Maschine, so leistet er, indem er diese in Bewegung setzt, wieder mechanische Arbeit, für welche dann im Schliessungskreis die entsprechende Wärmemenge verschwindet.

Bezüglich der Leistungen und Anwendungsfähigkeit für unsere Zwecke der zahlreichen Constructionen elektrischer Maschinen verweisen wir zunächst auf den Fundamentalsatz, dass Energie niemals verloren gehen, sondern nur in eine andere Form umgesetzt werden kann und dass deshalb, mag man eine elektrische Maschine anwenden, welches Systems man auch will, stets die ganze vom Motor abgegebene mechanische Energie in Energie elektrischer Ströme umgesetzt werden muss. Nun geht aber in Wechselstrom-Maschinen, deren Ströme durch Commutatoren gleich gerichtet werden müssen, stets ein beträchtlicher Procentsatz des Stromes eben durch den Commutator verloren und dann nützt sich der letztere durch die an ihm stattfindende Funkenbildung sehr rasch ab, wodurch dann Betriebsstörungen verursacht werden; es dürfte deshalb im Allgemeinen rathsam sein, für Zwecke der elektrischen Kraftübertragung Maschinen vorzuziehen, welche continuirliche Ströme erzeugen und daher oben erwähnte Mängel nicht zeigen.

Ferner hat die Erfahrung gelehrt, dass dynamoelektrische Maschinen den magnetelektrischen gegenüber grosse Unvollkommenheiten besitzen, für die eine radicale Abhilfe bis jetzt noch nicht gefunden wurde. Da nämlich der Magnetismus der inducirenden Magnete von der in den Armaturspiralen entstehenden Stromstärke und diese wieder von der Rotations-Geschwindig-

keit abhängt, so schwankt die Intensität der magnetischen Felder mit jedem Wechsel in der Rotations-Geschwindigkeit, wodurch natürlich eine entsprechende Rückwirkung auf die in den Armaturspiralen auftretenden Ströme veranlasst wird. Die Folge davon ist, dass die Stromstärke nicht constant bleiben kann, so lange nicht eine vollkommen gleichmässige Rotation der Armatur aufrecht erhalten wird; dies ist aber selbst bei den besten Dampfmaschinen oder anderen Motoren kaum möglich, da einmal deren Bewegung an sich schon nicht ganz gleichmässig ist und zweitens eine gleichmässige Uebertragung der Bewegung durch Treibriemen etc. grossen Schwierigkeiten begegnet. Eine jede Ungleichmässigkeit aber, wie sie z. B. durch das Gleiten des Treibriemens u. s. w. entstehen kann, wird von einer correspondirenden Unregelmässigkeit in der Stromstärke der dynamoelektrischen Maschine begleitet.

Eine andere Quelle von Störungen der Stromstärke dynamoelektrischer Maschinen bilden Veränderungen, welche im Widerstande der äusseren Leitung auftreten, und zwar wird in der Regel die Stromstärke gerade dann geschwächt, wenn ein starker Strom am nöthigsten wäre, während sie wächst, wenn kein Bedürfniss für einen starken Strom vorhanden ist. — Auch alle sonstigen Veränderungen des Widerstandes im Stromkreise wirken störend auf die Stromstärke der Maschine. Wenn z. B. durch irgend einen Zufall Oel oder Schmutz zwischen die Bürsten und den Commutator gelangt oder die Contactschrauben verunreinigt werden, so wird der Widerstand im Stromkreise verstärkt und der Strom der Maschine geschwächt. Wenn

nun auch sorgsame Reinlichkeit, Anwendung möglichst gleichmässiger Motoren und Transmissionen, sowie specielle Schutzmittel die genannten Vorkommnisse auf ein Minimum herabzusetzen im Stande sind, so bleibt die Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstande im Stromkreise immer eine Unvollkommenheit, welche den magnetelektrischen Maschinen mit Stahlmagneten nicht anhaftet. Selbst magnetelektrische Maschinen mit Elektromagneten sind durch Störungen im Stromkreise nicht beeinflusst, wenn letztere ihren Strom von separaten Maschinen erhalten. Für letztere Construction spricht auch der Umstand, dass eine grosse Intensität der magnetischen Felder bei den inducirenden Magneten der dynamoelektrischen Maschinen nur auf Kosten einer bedeutenden Wärmeproduction, resp. eines Verlustes an mechanischer Energie für die Zwecke der elektrischen Uebertragung erzeugt werden kann, und wenn auch durch Fortlassen der eisernen Kerne der Armaturspiralen, wie dies bei den Siemens'schen Maschinen neuester Construction geschieht, die schädliche Wärmeerzeugung bedeutend vermindert wird, so ist dennoch stets die Anwendung einer separaten Maschine zur Magnetisirung der inducirenden Magnete vorzuziehen.

Aus dem Vorstehenden erhellt, dass wir für die Zwecke der Kraftübertragung von den heute bekannten Maschinen entschieden den magnetelektrischen den Vorzug zu geben haben. Welche von den derzeit wichtigsten magnetelektrischen Maschinen von Gramme, von Siemens & Halske etc. aber vorzuziehen ist, darüber lässt sich nach den bis heute vorliegenden Daten, auf die wir später noch zurückkommen, noch kein sicheres

Urtheil fällen. Maschinen des letztgenannten Systems sind wohl etwas complicirter, aber anscheinend doch bei gleichem Preise wirksamer als Gramme'sche Maschinen.

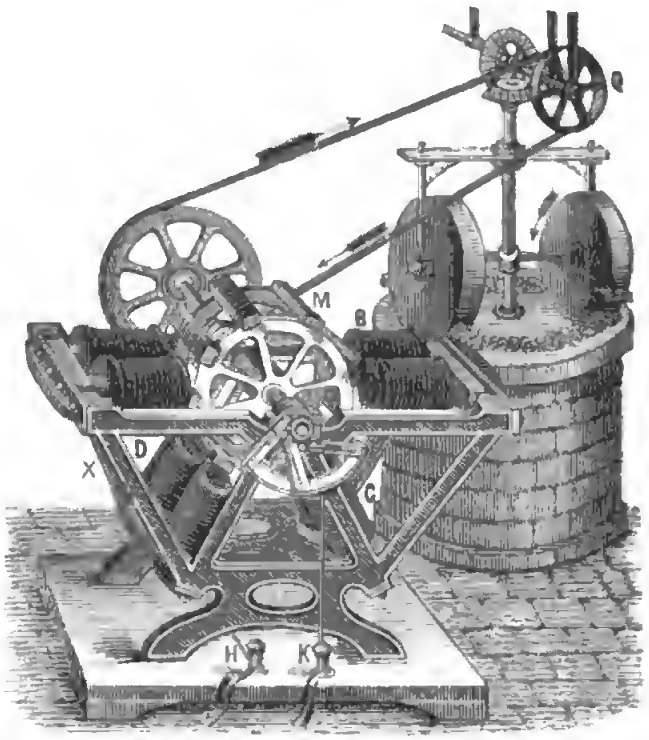
Wir übergehen nun einstweilen die zur Fortpflanzung und Aufspeicherung der Elektricität dienenden Vorrichtungen und kommen zur Betrachtung der elektrischen Maschinen, welche zur Wiederumwandlung des elektrischen Stromes in mechanische Energie dienen und insbesondere für solche Fälle, in denen man durch den elektrischen Strom grosse und andauernde Arbeitsleistungen erhalten will.

Solche Arbeitsleistungen erzielte man zuerst durch die Erfindung der elektromagnetischen Motoren, in ökonomischer Weise aber erst dann, als die Möglichkeit der Reversion der dynamoelektrischen Maschinen bekannt war.

Eine der einfachsten Formen eines elektromagnetischen Motors ist diejenige des Froment'schen Motors Figur 2. Dieser besteht aus vier an einem gusseisernen Gestell befestigten Hufeisenmagneten *A*, *B*, *C*, *D*, vor deren Polen eine Trommel rotirt, auf welcher mehrere mit der Axe parallele Stangen von weichem Eisen befestigt sind. Der positive Poldraht einer galvanischen Batterie tritt bei *K* ein und der Strom gelangt von dort zu einem auf der Axe der Maschine befindlichen Commutator, von wo er in die Drahtwindungen der Elektromagnete gelangt. Der Commutator nun ist so construirt, dass der Strom während einer Umdrehung der Trommel 24 Mal wechselt, und immer durch denjenigen Elektromagnet geht, welcher

sich am nächsten bei einem der Eisenstäbe befindet. Dieser Eisenstab wird in Folge dessen angezogen, bis er sich den Polen des Elektromagnets gegenüber befindet; dann tritt der Strom in den benachbarten Elektromagnet ein, der diesem Elektromagnet gegenüberliegende Stab wird angezogen u. s. w., und in Folge davon wird die Trommel in eine continuirliche Bewegung gesetzt, die man alsdann auf irgend einen beliebigen Apparat übertragen kann, wie dieses in der Figur in Bezug auf eine Wergreibe veranschaulicht ist.

Fig. 2.



Andere elektromagnetische Motoren sind so construirt, dass ein aus einem Magnetstabe bestehendes Piston durch den alternirenden Strom abwechselnd in eine von dem Strome durchflossene Spule hereingezogen oder aus derselben herausgezogen wird, ähnlich wie das Piston einer Dampfmaschine; wieder andere derartige Motoren setzen ein Zahnrad in Bewegung, welches in ein Getriebe eingreift und so die Bewegung überträgt. Doch das Princip aller dieser Motoren ist im Grunde genommen dasselbe.

Der erste elektromagnetische Motor, welcher in der Praxis verwendet wurde, war der von Jakobi, dem berühmten Erfinder der Galvanoplastik, im Jahre 1839 construirte. Derselbe diente nämlich dazu, den Strom einer aus 128 Grove'schen Elementen bestehenden Batterie zum Betriebe eines kleinen Schiffes auf der Neva zu verwenden. — In den Artillerie-Werkstätten von St. Thomas d'Aquin wird seit 1876 eine höchst subtile Theilmaschine mit einer weit entfernten Dampfmaschine durch Vermittelung von zwei Gramme'schen Maschinen mit der allerdings nur geringen Kraft von kaum 1 Kg.-Mtr. bewegt.

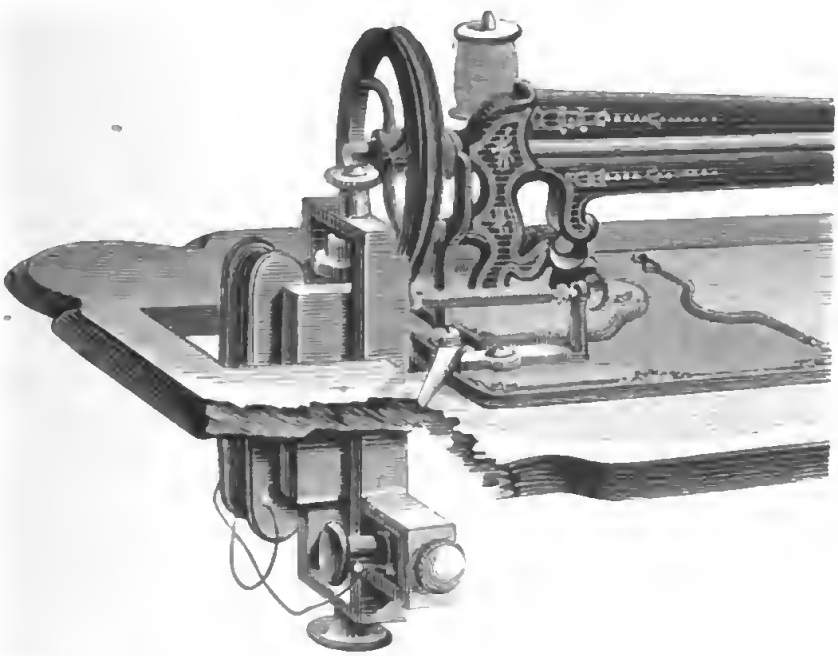
Fig. 3.

In den letzten Jahren sind die elektromagnetischen Motoren sehr verbessert worden, und zeichnen sich unter denselben besonders aus der kleine Motor von Trouvé und der Motor von Marcel Deprez.

Der Trouvé'sche Motor wurde von dem Erfinder letztes Jahr in einem der französischen Akademie der Wissenschaften vorgelegten Memorandum beschrieben und ist in Figur 3 und 4 abgebildet. Er ist im Grunde genommen nur eine kleine dynamoelektrische Maschine von Siemens, die so modificirt ist, dass bei der Drehung der Armatur keine todten Punkte auftreten. Dieses erreicht Trouvé dadurch, dass er den Polflächen des Siemens'chen Inductors eine spiralförmige Gestalt

giebt, so dass in jedem Momente der Drehung ein Theil derselben dem Einflusse der inducirenden Magnete ausgesetzt ist. Mit einem auf diese Weise construirten Trouvé'schen Motor, dessen natürliche Grösse in Figur 3 auf den vierten Theil reducirt ist, kann man Velocipedes, Nähmaschinen (in Figur 4 ist die Anwendung des Motors zum Betriebe einer Nähmaschine veranschaulicht) oder andere kleine Apparate leicht in

Fig. 4.



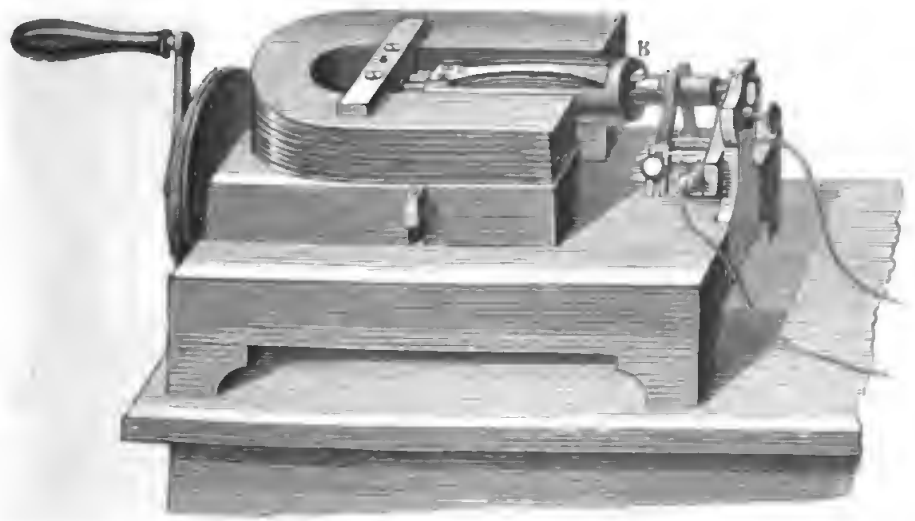
Bewegung setzen, wenn man den Strom einiger Bunsen'schen Elemente anwendet, und einen derartigen Motor benützte Herr Trouvé während der elektrischen Ausstellung zu Paris im Jahre 1881, um sein kleines Boot, genannt »das Telephon«, fortzubewegen. Das Boot hatte eine Länge von 5·50 Mtr., eine Breite von 1·20 Mtr., und ein Gewicht von 80 Kg. In der Mitte desselben befand sich eine aus 12 Elementen bestehende und 24 Kg. wiegende Bunsen'sche Batterie,

welche durch zwei biegsame Kabel mit dem oberhalb des Steuerruders befindlichen Motor in leitender Verbindung stand; die Kabel dienten zugleich dazu, die Bewegung des Steuerruders zu reguliren. Die Rotation der Armatur des Motors wird dadurch hervorgebracht, dass ein Theil des Stromes in die Armaturspiralen und ein anderer Theil in die Spiralen der Elektromagnete eintritt, und auf diese Weise in dem Armaturkerne und dem Kerne der Elektromagnete entgegengesetzte Polaritäten erzeugt, die einander anziehen. Durch diese Anziehung wird eine partiale Drehung der Armatur hervorgerufen, alsdann wird durch einen auf der Axe der Maschine befindlichen Commutator der Strom gewechselt und die Drehung in derselben Richtung fortgesetzt, und bleibt dieselbe continuirlich, so lange der Strom in die Maschine eintritt. Es ist dieser Vorgang genau das Umgekehrte der Wirkung, die in einer dynamoelektrischen Maschine stattfindet, d. h. während in der letzteren die magnetische Anziehung zwischen den inducirenden Magneten und der Armatur in Strom umgewandelt wird, wird in dem elektromagnetischen Motor der elektrische Strom in magnetische Anziehung und in Folge dessen in eine Bewegung der Armatur verwandelt. Diese Bewegung wird bei dem oben beschriebenen Trouvé'schen Boote vermittelst eines Treibriemens auf die in einem Ausschnitte des Steuerruders befindliche Propellerschraube übertragen. Bei den im Juni 1881 mit dem Trouvé'schen Boote auf der Seine angestellten Versuchen ergab sich, dass dasselbe bei Anwendung des beschriebenen Motors im Stande war, mit einer Geschwindigkeit von 1 Mtr.

gegen den Strom und von 2·50 Mtr. mit dem Strome zu fahren.

Der Deprez'sche Motor ist ebenfalls nur eine Modification der Siemens'schen Maschine und in Figur 5 abgebildet. Seine Eigenthümlichkeit besteht darin, dass der Cylinder-Inductor parallel mit den Magnetschenkeln rotirt, und dass die Wirkung derselben in Folge dessen besser ausgenützt wird.

Fig. 5.



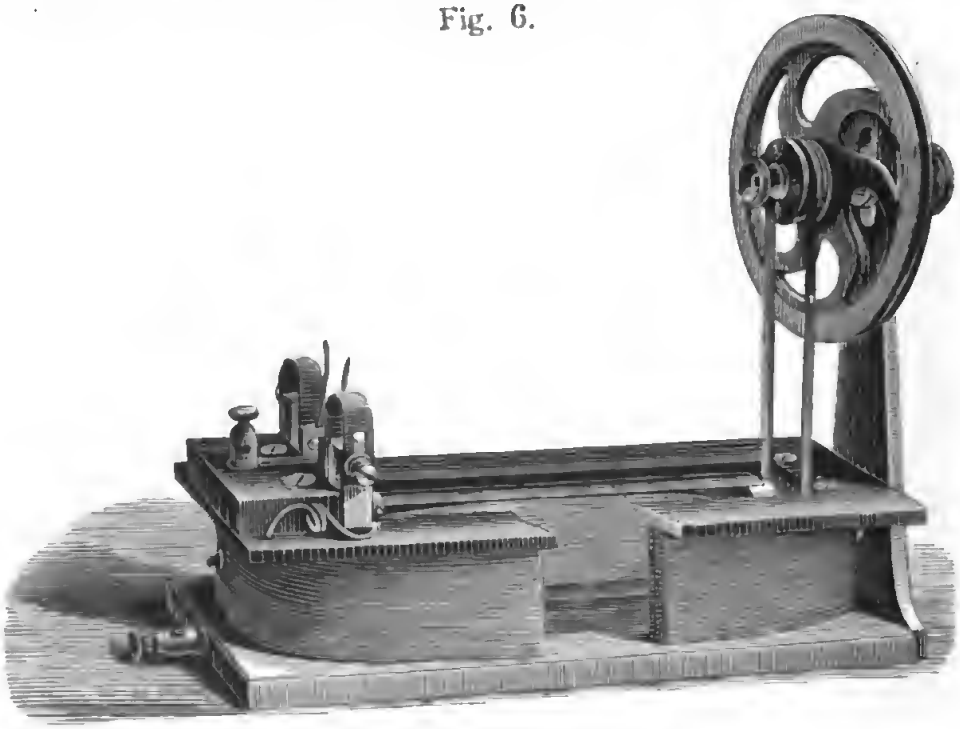
Die Dimensionen dieses Motors sind die folgenden:

Länge des Hufeisenmagnets, gemessen von den Polflächen bis zum Scheitel des gekrümmten Theiles	145 Mm.
Innerer Abstand der Schenkel	33 »
Dicke des Magnetbündels	25 »
Durchmesser des Cylinder-Inductors	32 »
Länge des Eisenkernes	60 »
Gewicht des inducirenden Magnets	1·70 Kg.
Gewicht des ganzen Motors	2·83 »

Der elektromagnetische Motor von Borel Fig. 6) beruht auf der von Ampère entdeckten That-

sache, dass, wenn man eine Magnetnadel in einer von dem Strome durchflossenen Spule aufhängt, die erstere eine zu der Richtung der Spuldrähte perpendiculäre Stellung einzunehmen strebt, und zwar wird die Magnetnadel eine soiche Richtung haben, dass, wenn man sich eine Person mit dem Strome schwimmend und ihr Antlitz der Nadel zukehrend, vorstellt, der Nordpol

Fig. 6.



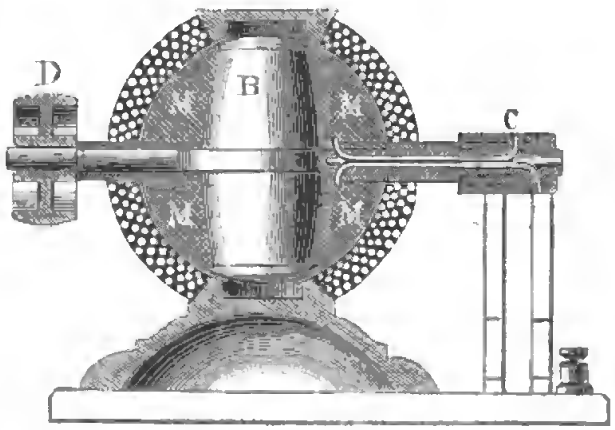
sich stets zu ihrer Linken befinden wird. Wenn nun die Nadel eine zu den Drahtwindungen perpendiculäre Stellung erreicht hat, wie man dieses leicht durch einen Strom von gewisser Stärke verursachen kann, und wenn man dann den Strom wechselt, so wird die Bewegung fortgesetzt werden, durch welche die Nadel in die perpendiculäre Stellung gebracht wurde, und wieder zum Halten kommen, sobald beide Pole genau ihre Richtung gewechselt haben; es ist demnach leicht ersichtlich,

dass man durch fortwährendes rechtzeitiges Wechseln des Stromes eine continuirliche Rotation der Nadel hervorrufen kann. Vergrössert man folglich die Dimensionen eines gewöhnlichen Galvanometers, setzt dann an die Stelle der Nadel einen starken Magnetstab, einen Elektromagnet oder einen Stab aus weichem Eisen und bringt auf der Axe desselben einen Commutator an, so erhält man einen wirksamen elektromagnetischen Motor; denn, wenn man einen Strom durch die den Galvanometerspiralen entsprechenden Drähte leitet, so wird in dem letzteren Falle z. B. die entsprechende Rotation des auf diese Weise magnetisirten weichen Eisenstabes beginnen, und wenn derselbe durch seine eigene Drehung vermittelst des Commutators einen fortwährenden Stromwechsel in den Galvanometerspiralen hervorruft, so wird diese Bewegung eine continuirliche bleiben. Der Vorgang ist im Grunde genommen derselbe, wie in den bereits beschriebenen elektromagnetischen Motoren, und bildet, wie gesagt, das Princip des in Fig. 6 abgebildeten Motors von Borel, welcher den Vortheil hat, dass in demselben kein Polwechsel stattfindet, da der rotirende weiche Eisenkern während der ganzen Dauer der Rotation dieselbe Polarität behält.

Denselben Vorzug bietet der auf ganz analoge Weise construirte Motor von Bürgin (Fig. 7 und 8), in welchem ein Polwechsel ebenfalls vermieden wird. Die rotirende weiche Eisenmasse *B* in diesem Motor hat eine kugelförmige Gestalt und ist von Galvanometerspiralen umgeben, welche um eine Hohlkugel gewunden sind, in welcher der Kern rotirt. Der Strom tritt durch die mit dem Commutator *C* verbundenen Bürsten ein.

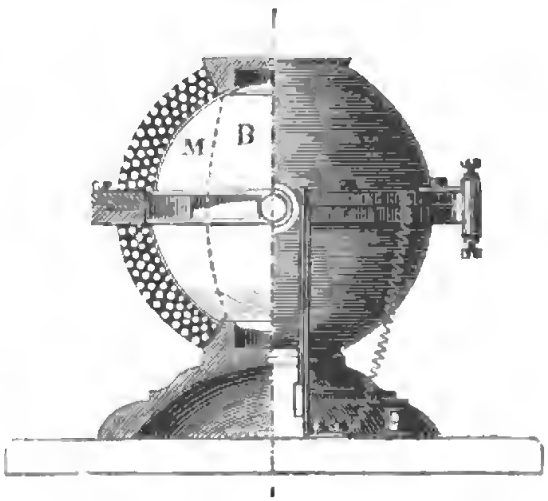
Ausser den beschriebenen Motoren kann man eine jede dynamoelektrische Maschine als einen elektromagnetischen Motor benützen, wenn man durch die Spiralen derselben einen Strom sendet. Die für die Praxis wichtige Frage ist jedoch nicht nur die Construction des Elektromotors, sondern auch die Art und Weise, auf welche man den zum Betriebe des Motors erforderlichen Strom erzeugt.

Fig. 7.



So lange dieses nur vermittelst galvanischer Batterien geschehen konnte, hatten die elektromagnetischen Motoren absolut keine praktische Bedeutung und konnten nicht verwendet werden, da die besten elektromagnetischen Motoren nur 25 Percent der von der Batterie gelieferten Arbeit wiederzugeben im Stande sind und da die Unterhaltungskosten einer Batterie ausserordentlich hoch sind. Der theoretische Zinkverbrauch in einem Bunsen'schen Element für eine Pferdekraft per Stunde beläuft sich nämlich auf etwa ein halbes Kilogramm, und da im Elektromotor nur

Fig. 8.



25 Percent dieser Kraft in Arbeit umgesetzt werden, so kostet die Pferdekraft 2 Kg. Zink per Stunde. Rechnet man hiezu noch 8 Kg. Salpetersäure (der Verlust der verbrauchten Schwefelsäure ist unbedeutend, da man das durch dieselbe gebildete Zinkvitriol verwerthen kann), so kostet die Pferdekraft per Stunde 8·20 Mk., wenn man den Preis von 1 Kg. Zink mit 1·50 Mk. und von 1 Kg. Salpetersäure mit 0·65 Pf. berechnet. Ausserdem muss man für die Bedienung der 213 Bunsen'schen Elemente, welche man zur Erzeugung einer Pferdekraft gebraucht, noch den Lohn von etwa 6 Arbeitern zählen, den man sicher nicht zu hoch anrechnet, wenn man ihn auf 25 Pf. per Stunde veranschlagt. Dies erhöht die Kosten per Pferdekraft und Stunde auf 9 Mk. 70 Pf., und wenn der Motor 10 Stunden per Tag arbeiten soll, auf 97 Mk. per Tag, während man von einer Dampfmaschine dieselbe Leistung für etwa 1 Mk. 50 Pf. erhält.

Selbst wenn die Motoren im Stande wären, die ganze Kraft der galvanischen Batterie wiederzugeben, würden also die Kosten ihrer Betriebskraft ca. 16 Mal so hoch sein, wie die der Dampfkraft; eine praktische Verwendung der Batterien zur Stromerzeugung für Elektromotoren steht demnach vollständig ausser Frage und die letzteren haben erst ihre Bedeutung erhalten, seit man dynamoelektrische und magnetelektrische Maschinen zur Stromerzeugung verwendet, und deren Strom entweder direct oder indirect, d. h. nach Ansammlung desselben in Elektricitäts-Reservoirs (Secundär-Batterien), in die Spiralen der Motoren leitet.

Da nun diese elektrischen Maschinen ihren Strom durch Umwandlung mechanischer Arbeit erhalten, so

muss man, wenn man von den elektromagnetischen Motoren einen möglichst grossen Nutzen erhalten will, erstens die in den stromerzeugenden Maschinen aufgewendete mechanische Arbeit auf möglichst billige Weise zu erhalten suchen, und zweitens muss man einen möglichst grossen Theil der aufgewendeten Arbeitskraft wieder zu gewinnen streben.

Das erstere wird man durch Anwendung stets vorhandener Naturkräfte zur Bewegung der Stromerzeuger erreichen, deren Ausnützung verhältnissmässig wenig Kosten verursacht, so z. B. durch Verwerthung von Wasserkräften, das zweite wird man durch eine rationelle Construction der angewendeten Maschinen und der Leitungen erzielen; beide Punkte werden in den folgenden Capiteln näher besprochen werden, vor allen Dingen wird es jedoch nöthig sein, diejenigen Gesetze kennen zu lernen, auf welchen die Erzeugung und Umwandlung des elektrischen Stromes beruht.

III.

Theorie der Umwandlung des Stromes in Arbeit.

Das für die Kraftübertragung wichtigste physikalische Gesetz, dessen Richtigkeit durch unzählige Experimente erprobt wurde, und welches in directer Beziehung zu der bekannten Theorie »der Erhaltung der Energie« steht, lautet: Wenn man eine bestimmte

mechanische Energie aufwendet, um einen Stromerzeuger in Bewegung zu setzen, so wird die ganze aufgewendete Energie entweder in eine äquivalente neue Form von Energie umgewandelt, oder gleichzeitig in verschiedene Formen von Energie, z. B. Wärme, chemische Energie, Licht u. s. w., deren Summe genau äquivalent der stromerzeugenden Energie ist, d. h. es geht auch nicht der geringste Bruchtheil der aufgewendeten Energie verloren, sondern die letztere erscheint nur unter verschiedenen Formen in dem Stromkreise wieder; das praktische Problem besteht daher darin, möglichst viel der aufgewendeten Energie an dem gewünschten Orte und unter der Form wiederzugewinnen, welche man für einen bestimmten Zweck benöthigt.

Die Hauptformen von Energie nun, in welche sich der elektrische Strom umwandeln lässt, sind Wärme und Licht oder strahlende Energie, chemische Energie und mechanische Energie.

Unter der ersten Form, d. h. unter der Form von Wärme, tritt stets ein Theil des einen Leitungsdraht durchfliessenden Stromes auf, und die ganze Energie wird in Wärme verwandelt, wenn ausser dem Strome keine andere Arbeit verlangt wird. Nach dem von Joule und Anderen auf verschiedenen experimentellen und theoretischen Wegen nachgewiesenen Gesetz, dass die durch einen elektrischen Strom in der Zeiteinheit bewirkte Wärmeentwickelung dem Quadrate der Stromstärke und zugleich einer von der Beschaffenheit des Leiters abhängigen Grösse, welche man Leitungswiderstand nennt, direct proportional ist, lässt sich die pro Zeiteinheit (Secunde) in Wärme umgewandelte Quan-

tität Q des einen Leiter durchfliessenden Stromes, d. h. in dem letzten Falle die ganze auftretende Energie in Calorien durch die Gleichung

$$Q = I^2 R$$

ausdrücken, in welcher Gleichung I die Intensität des Stromes, R den Widerstand bezeichnet, und welche kurzweg das Joule'sche Gesetz genannt wird.

Um dieses besser zu verstehen, bedenke man, dass, wenn in einem galvanischen Elemente das Zink sich oxydirt, in diesem Elemente jedesmal eine gewisse Quantität von Wärme frei wird, und zwar ist diese Quantität proportional dem Zinkverbrauche, oder mit anderen Worten der in dem Elemente auftretenden chemischen Energie; da nun nach einem von Faraday entdeckten Gesetze die durch einen elektrischen Strom erzeugte chemische Energie proportional der Intensität des Stromes und nach dem Ohm'schen Gesetze*)

$$I = \frac{E}{R}$$

*) Bei der Wichtigkeit dieses Gesetzes für die praktische Verwerthung des elektrischen Stromes sei es gestattet, hier kurz das Wesen desselben zu recapituliren: Wenn man ein galvanisches Element oder einen sonstigen Stromerzeuger durch einen Draht schliesst, so zeigt ein gleichzeitig in den Schliessungskreis eingeschalteter Strommesser, dass der Strom schwächer wird, wenn man den Schliessungsdraht länger nimmt. Wir schreiben die Schwächung des Stromes einem Widerstand zu, welchen der Draht dem Durchgange des Stromes entgegensetzt, und nehmen an, dass dieser Widerstand in demselben Verhältniss wie die Länge des Drahtes wächst. Hat man eine so grosse Drahtlänge eingeschaltet, dass der Widerstand, den der Strom beim Durchgang durch das Element selbst erleidet, nur sehr unbedeutend ist im Vergleich zum Widerstand des Drahtes, und bringt man nun die Stärke des Stromes durch weitere Verlängerung des Drahtes auf

ist, in welcher Gleichung I die Intensität, E die elektromotorische Kraft und R den Gesammtwiderstand der Leitung bezeichnet, so lässt sich die Richtigkeit der Gleichung

$$Q = I^2 R$$

aus folgender Tabelle erkennen, welche die verhältnissmässigen Leistungen einer gewissen Anzahl von auf Quantität gekoppelten galvanischen Elementen veranschaulicht.

Anzahl der Elemente	Gesammtwiderstand der Leitung	Intensität des Stromes $= \frac{E}{R}$	Zinkverbrauch in jedem Elemente proportional zu I	Gesammt-Zinkverbrauch
1	1	1	1	1
2	1	2	2	$4 = (2 \times 2)$
3	1	3	3	$9 = (3 \times 3)$
4	1	4	4	$16 = (4 \times 4)$

Aus dieser Tabelle erhellt, dass, da in einem jeden Elemente der Zinkverbrauch oder die auftretende Wärme

die Hälfte herab, so zeigt es sich, dass man, um dies zu erreichen, noch einmal dieselbe Drahtlänge einschalten und sonach den Widerstand verdoppeln muss. Die Stromstärke steht sonach im umgekehrten Verhältniss zum Widerstand des Schliessungskreises. Andererseits findet man, dass bei gleichbleibendem Widerstand des Schliessungskreises die Stromstärke doppelt so gross wird, wenn man zwei gleiche Elemente nach Art der Volta'schen Säule miteinander verbunden wirken lässt, wenn man also die »elektromotorische Kraft«, welche die strömende Elektricität durch den Schliessungskreis treibt, verdoppelt. Es ergiebt sich sonach das nach seinem Entdecker benannte Ohm'sche Gesetz: Die Stromstärke steht im geraden Verhältniss zur elektromotorischen Kraft und im umgekehrten zum Widerstand, oder: Die Stromstärke ist gleich der elektromotorischen Kraft, dividirt durch den Widerstand.

proportional der Intensität des Stromes ist, und da in einem jeden von vier auf Quantität gekoppelten Elementen die Intensität $\frac{E}{R} = \frac{4}{1} = 4$ ist, die Wärme oder der Zinkverbrauch ebenfalls $= 4$ sein muss, also in den vier Elementen $= 16$, d. h. 4^2, mit anderen Worten, die entwickelte Wärme ist proportional der Intensität des Stromes.

Koppelt man die Elemente auf Spannung, d. h. ändert man den Widerstand der Batterie, so lässt sich aus der folgenden Tabelle erkennen, in welcher Beziehung der Zinkverbrauch oder die entwickelte Wärme zu dem Widerstande steht.

Zahl der Elemente	Gesammtwiderstand des Stromkreises	Intensität des Stromes $= \frac{E}{R}$	Zinkverbrauch in einem Elemente proportional der I	Gesammt-Zinkverbrauch in den Batterien
1	1	1	1	$1 = (1 \times 1)$
2	2	1	1	$2 = (1 \times 2)$
3	3	1	1	$3 = (1 \times 3)$
4	4	1	1	$4 = (1 \times 4)$

In den vier auf Spannung gekoppelten Elementen zusammen ist die Intensität $= \frac{4}{4} \times 4$, d. h. $= 4$, und ebenso der Zinkverbrauch, welcher ja proportional der Intensität ist. Dieser Zinkverbrauch ist aber, wie die Tabelle zeigt, direct proportional dem Widerstande.

Wenn man demnach wie oben die Wärme mit Q bezeichnet, so ergiebt sich aus den beiden Tabellen deutlich das erwähnte Resultat

$$Q = I^2 R$$

Combinirt man diese Joule'sche Formel mit der Ohm'schen Formel $I = \frac{E}{R}$, so erhält man

$$Q = \frac{E^2}{R} = EI$$

Diese Gleichung ist nicht nur richtig in Bezug auf die Vorgänge im ganzen Stromkreise, sondern gilt ebenso für jeden beliebigen Theil des Stromkreises. Nennen wir r den Widerstand eines gegebenen Theiles des Stromkreises, e die Spannungsdifferenz an den Enden desselben (die Intensität I ist in dem ganzen Stromkreise stets dieselbe), so ist die in diesem Theile des Stromkreises auftretende Wärme

$$q = r\,I^2 = \frac{e^2}{r} = e\,I$$

Wünscht man nun zu einem bestimmten Zwecke an einer bestimmten Stelle des Stromkreises eine möglichst grosse Quantität Wärme zu erzeugen, so ergiebt sich aus den beiden obigen Gleichungen, dass die dort erzeugte Wärme q sich zu Q verhalten wird, wie $\frac{r}{R}$ oder $\frac{e}{E}$, man sieht also sofort, dass man den Widerstand an der Stelle, wo die Wärme gewünscht wird, möglichst gross im Vergleich mit dem Gesammtwiderstand der Leitung machen muss, und dass, wenn man einmal einen bestimmten Widerstand für diesen Theil sowie für den ganzen Stromkreis festgesetzt hat, und wünscht, dass $\frac{e}{E}$ constant bleibt, man, wenn sich q nicht verändern soll, Q oder was dasselbe ist, $\frac{E^2}{R}$ constant erhalten muss.

Man berücksichtige nun die folgenden Gesetze:

1. Die im ganzen Stromkreise auftretende Wärme ist gleich EI; für eine gegebene Intensität also E proportional;

2. die an einem bestimmten Theile des Stromkreises auftretende Arbeit ist gleich eI, d. h. dieselbe ist für eine bestimmte Intensität e proportional;

3. der Nutzeffect wird ausgedrückt durch $\frac{e}{E}$;

4. die zur Stromproduction aufgewendete Energie, die an einem bestimmten Theile des Stromes verwendbare Wärme und der Nutzeffect bleiben unverändert, welches immer die Länge der Leitung sein mag, wenn E und e sich proportional der Quadratwurzel des Gesammtwiderstandes verändern.

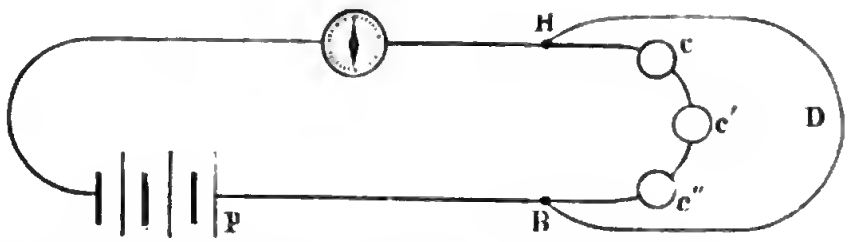
In dem bisher Gesagten handelte es sich darum, die Gesetze für die an einem bestimmten Theile des Stromkreises zu erzeugende Wärme kennen zu lernen; wir gehen nun zu den Formeln über, welche sich auf die Umwandlung des Stromes zur Erzeugung mechanischer Arbeit beziehen.

Nehmen wir zu diesem Zwecke an, dass sich in einem Stromkreise (Fig. 9) eine aus n Elementen bestehende Batterie befindet, deren Strom auf ein mit der Leitung verbundenes Galvanometer einwirkt, welches dazu dient, die Intensität des Stromes zu messen, während c, c', c'' verschiedene beliebige Apparate sind, in denen der elektrische Strom in verschiedene Formen von Energie umgewandelt wird, sei es in Wärme

chemische Energie oder mechanische Arbeit. In diesem Falle nehmen wir an, dass die von dem Galvanometer angegebene Intensität des Stromes $= A$ und die in jedem Elemente der Batterie aufgebrauchte Menge Zink Z, d. h. in den n Elementen $n\,Z$ sei.

Schliesst man nun die Apparate c, c', c'' aus dem Stromkreise aus und schaltet an ihrer Stelle so viele Widerstände P ein, dass I wiederum gleich A wird, so wird man finden, dass die elektromotorische Kraft E unverändert geblieben ist, und da nach dem Gesetze von Faraday die Quantität des per Zeiteinheit aufgebrauchten Zinkes I proportional ist, so wird dieselbe

Fig. 9.



ebenfalls unverändert bleiben, und ferner, da die im Stromkreise auftretende Energie durch den Zinkverbrauch in der Batterie gemessen wird, so ist auch die im Stromkreise auftretende Energie unverändert geblieben, d. h. ob die Apparate c, c', c'' eingeschaltet sind oder nicht, die in dem Stromkreise auftretende Energie wird sich stets durch $E\,I$ ausdrücken lassen. Ausserdem wird man, wenn man die Potentialdifferenz der Stellen H und B der Leitung misst, finden, dass auch diese unverändert bleibt, wenn man die Apparate c, c', c'' durch Widerstände ersetzt. Aus allem diesen folgt, dass man den activen Widerstand der eingeschalteten Apparate durch passiven Widerstand er-

setzen kann, und den Werth dieses einzuschaltenden Widerstandes kann man leicht bestimmen, wenn man bedenkt, dass

$$\frac{E-e}{R}=\frac{E}{R-x} \text{ ist.}$$

Aus dieser Gleichung folgt

$$x=\frac{eR}{E-e}$$

und wenn man e fortlässt und x einschaltet, so wird sich die Leitung dadurch nicht verändern.

Wendet man nun die gefundenen Gesetze auf solche Fälle an, in denen im Stromkreise nur zwei Formen von Energie auftreten, nämlich Wärme und mechanische Arbeit, so lässt sich der Effect im Stromkreise ausdrücken durch

$$EI=RI^2+L$$

in welcher Gleichung RI^2 nach dem Joule'schen Gesetze die im Stromkreise auftretende Wärme und L die mechanische Arbeit bezeichnet.

Wenn demnach $L=o$ wird, so tritt die ganze Energie als Wärme im Stromkreise auf.

Aus der obigen Gleichung folgt aber ferner

$$RI^2-EI+L=o$$

folglich

$$I=\frac{E\pm\sqrt{E^2-4RL}}{2R}$$

Wünscht man die verschiedenen Werthe für I in Bezug auf verschiedene Werthe von L zu finden, so ergiebt sich für I, wenn $L=o$ ist (das Ohm'sche Gesetz),

$$I=\frac{E}{R}$$

d. h. I ist ein Maximum in einem Stromkreise, in welchem von dem Strome keine Arbeit verlangt wird. Je mehr jedoch der Werth für L wächst, desto mehr wird der Werth für I abnehmen. Doch wird diese Abnahme eine bestimmte Grenze nicht überschreiten können, das Maximum für L wird also eintreten, wenn

$$E^2 - 4RL = o,$$

d. h. wenn

$$L = \frac{E^2}{4R} \text{ ist.}$$

In diesem Falle wird $I_1 = \frac{E}{2R} = \frac{I_0}{2}$ sein, d. h. wenn L sein Maximum erreicht, so wird die Intensität des Stromes nur die Hälfte derjenigen sein, welche der Strom hat, wenn $L = o$ ist. Man kann dieses so ausdrücken, dass in jedem gegebenen Falle die Intensität I gleich der Intensität I_0 ist, von der man eine gewisse Quantität i in Abzug bringen muss, die sich nach dem Werthe von L richtet, d. h.:

$$I = I_0 - i$$

und da $I_0 = \frac{E}{R}$ ist, so erhalten wir, wenn wir statt i $\frac{x}{R}$ setzen,

$$I = \frac{E}{R} - \frac{x}{R} = \frac{E - x}{R}.$$

Daraus erhellt, dass x, da es eine Verminderung der elektrischen Kraft des Stromes andeutet, sich wie eine elektromotorische Gegenkraft verhält, die man mit e bezeichnen kann. (Vgl. Glaser, Die elektrischen Maschinen. Cap. V. [Elektrotechn. Bibl. Bd. I.])

folglich $$I = \frac{E - e}{R}$$

Der Werth von e lässt sich nun leicht aus der Gleichung

$$\frac{E - e}{R} = \frac{E \pm \sqrt{E^2 - 4RL}}{2R}$$

finden und ist

$$e = \frac{E \mp \sqrt{E^2 - 4RL}}{2}.$$

Geht man nun wieder auf die Formel

$$EI = RI^2 + L$$

zurück, so findet man die Gleichung

$$L = EI - RI^2,$$

in der EI die ganze im Stromkreise auftretende Energie bezeichnet. Der Nutzeffect N hängt also von dem Verhältniss zwischen L und EI ab; es ist demnach

$$N = \frac{L}{EI} = \frac{EI - RI^2}{EI} = i - \frac{RI}{E}.$$

Aus dieser Gleichung folgt:

$$N = i - \frac{I}{\left(\frac{E}{R}\right)}$$

und da $\frac{E}{R}$, wie wir eben gesehen haben, gleich I_0 ist, so erhält man

$$N = i - \frac{I}{I_0}.$$

Auf der anderen Seite haben wir gesehen, dass

$$I = \frac{E - e}{R}$$

ist, es folgt also:

$$N = i - \frac{\frac{E-e}{R}}{\frac{E}{R}} = \frac{e}{E}.$$

Wir sehen also, dass man auch für die Nutzarbeit die bereits oben gefundene Formel $\frac{e}{E}$ anwenden kann, und welche Form von Energie man auch am anderen Ende der Leitung erhalten will, der Nutzeffect wird sich stets durch das Verhältniss der elektromotorischen Gegenkraft e zu der elektromotorischen Kraft E bezeichnen lassen.

Man kann in Folge dessen den Werth für die wirklich geleistete Arbeit finden.

Die Gesammtarbeit ist nämlich

$$L = E\,I = \frac{E(E-e)}{R}$$

und die nutzbare mechanische Arbeit

$$= N\,E\,I = e\,I = \frac{e\,(E-e)}{R}$$

die im Stromkreise als Wärme auftretende Energie

$$C = R\,I^2 = \frac{(E-e)^2}{R}.$$

Da nun $N = \frac{e}{E}$ ist, so ist auch

$$L = (i - N)\,\frac{E^2}{R}$$

$$e = N(i - N)\,\frac{E^2}{R}$$

$$C = (i-N)^2\,\frac{E^2}{R}.$$

Wenn man also N unverändert lassen will, und ebenso die aufgewendete Energie und die wieder erhaltene Energie unverändert bleiben soll, während man die Länge der Leitung, also den Widerstand zu ändern gedenkt, so muss man Sorge tragen, dass $\frac{E^2}{R}$ constant bleibt, d. h. dass E sich ändert wie die Quadratwurzel von R, und wenn $\frac{e}{E} = N$ constant bleiben soll, so muss sich natürlich e in demselben Verhältnisse ändern.

Wir sind also zu der wichtigen Thatsache gelangt: Die an einem beliebigen Ende des Stromkreises auftretende mechanische Energie und der Nutzeffect können unverändert erhalten werden, wie gross auch immer die Distanz sei, auf welche man die Kraft übertragen will, wenn man nur Sorge trägt, dass die elektromotorischen Kräfte E und e sich verändern, wie das Quadrat des Gesammtwiderstandes im Stromkreise.

IV.

Theoretische Berechnungen in Bezug auf die Kraftübertragung auf grosse Entfernungen.

Aus dem vorgehenden Capitel lässt sich erkennen, dass bei Einhaltung der vorgeschriebenen Bedingungen die Grösse der Distanz absolut keinen Einfluss auf das Resultat der Kraftübertragung hat; es fragt sich jedoch nunmehr, welche Hindernisse in der Praxis die Giltigkeit der Theorie modificiren.

Der Hauptzweifel, den die meisten Fachmänner in Bezug auf die praktische Ausführbarkeit einer elektrischen Kraftübertragung auf grosse Distanzen hegen, ist der, ob man zu diesem Zwecke nicht Leitungsdrähte oder Kabel von ausserordentlicher Stärke benutzen muss, deren hohe Kosten die Kraftübertragung für die Praxis unmöglich machen würden.

Dieser Zweifel ist jedoch unberechtigt, wie Dr. William Siemens bereits im Jahre 1878 nachgewiesen hat und wie sich aus der folgenden Betrachtung ergiebt.

Der innere Widerstand einer wirksamen elektrischen Maschine sollte niemals mehr als $^3/_7$ des äusseren Widerstandes betragen,*) und wollen wir der Ein-

*) Gegenüber der noch in den meisten Lehrbüchern enthaltenen Regel: »Der innere Widerstand soll gleich dem äusseren sein«, weist Uppenborn in seiner »Zeitschrift f. angew. Elektricitätslehre«, Bd. IV, Nr. 17, nach, dass elektrische Maschinen diesen idealen Nutzeffect von

fachheit wegen annehmen, dass für die Kraftübertragung der innere Widerstand $^1/_3$ des äusseren Widerstandes sei. Wenn man nun bei der Kraftübertragung wie gewöhnlich zwei ganz gleiche Maschinen durch die Leitung miteinander verbindet, so wird in diesem Falle der Widerstand einer jeden Maschine gleich 1 und der der Leitung gleich $^1/_2$ sein, denn in Bezug auf jede der beiden Maschinen bildet die Leitung sammt der anderen Maschine, d. h. $1 + {}^1/_2$, den äusseren Widerstand, der alsdann dreimal so gross ist, wie der innere Widerstand der Maschine.

Wenn man demnach zwei Maschinen von bestimmter Grösse anwendet und trotz der Verlängerung der Entfernung zwischen denselben den Leitungswiderstand constant, d. h. $= {}^1/_2$ des inneren Widerstandes einer jeden der beiden Maschinen erhalten will, so muss man die Durchschnittsfläche des Leitungsdrahtes in demselben Masse wie die Länge des Drahtes vergrössern, d. h. wenn man z B. gefunden hat, dass eine halbe engl. Meile Kupferdraht, welcher einen Durchmesser von 0·23 Zoll besitzt, die Hälfte des Widerstandes einer Maschine, die einen inneren Widerstand von 1 Ohm hat, repräsentirt, so muss man, wenn man einen 30 engl. Meilen langen Kupferdraht von derselben Dicke anwenden will, seinen Durchschnitts-Flächeninhalt genau verdreissigfachen, wenn der Widerstand der Leitung im Verhältnisse zur Maschine derselbe bleiben soll; man würde also auf diese

50 Percent nie erreichen, und dass man, wenn irgend thunlich, bei einfachen Transformationen nicht unter 70 Percent gehen solle. Daraus ergiebt sich für die obige Regel folgender Wortlaut: »Der innere Widerstand soll nie grösser als $^3/_7$ des äusseren sein«.

Weise das Gewicht der eine halbe Meile langen Leitung mit 60^2, d. h. mit 3600 multipliciren müssen, und dieses enorme Gewicht würde natürlich eine Kupfermasse repräsentiren, deren Kosten die Kraftübertragung auf 30 engl. Meilen ganz unmöglich machen würden, wenn man nur je eine Maschine an jedem Ende dieser Leitung verwenden könnte. Nun unterliegen aber die Leiter der Elektricität nicht denselben Bedingungen wie eine Röhre, welche wägbare Flüssigkeit fortführt, deren Widerstand sich im Quadrate der Geschwindigkeit des Fliessens vergrössert. Im Gegentheil, es ist ohne alle Bedeutung, wie gross die Summe von Kraft ist, die man durch die elektrische Leitung fortpflanzt; man kann denselben Leitungsdraht für die Uebertragung der Kraft von einer beliebig grossen Anzahl von Maschinen verwenden, ohne dadurch gegen das vorgeschriebene Widerstandsverhältniss zu verstossen. Die einzige Grenze für die Vermehrung der Anzahl von Maschinen wird die durch die zunehmende Stromstärke in der Leitung entstehende Wärme sein. Man hat, um die Leitungsfähigkeit eines grossen elektrischen Conductors bedeutend zu vermehren, vorgeschlagen, demselben die Form einer Röhre zu geben, durch welche kaltes Wasser fliesst; es sollte dadurch eine locale Anhäufung von Wärme vermieden werden. Uebrigens wird nach einer Berechnung von Sprague diese Wärme, selbst bei Anwendung von Primärmaschinen, die 1000 Pferdekräfte erzeugen, in der Leitung nicht mehr als 72 Pferdekräfte repräsentiren, welches der von 15 Pfd. Kohle per Stunde erzeugten Wärme entspricht, und vollständig ungenügend wäre, den Leitungsdraht, welcher in dem erwähnten Falle ein Gewicht

von 1900 Tonnen Kupfer und eine Oberfläche von 132.000 Qu.-F. haben müsste, merklich zu erhitzen.

Eine interessante Berechnung der für die Kraftübertragung der gesammten Kraft der Niagarafälle eventuell nothwendigen Kabel-Dimensionen wurde von den amerikanischen Professoren Thomson und Houston dem Franklin-Institute vorgelegt.

In dieser Berechnung zeigen die genannten Herren, dass man eventuell die ganze Kraft der Niagarafälle vermittelst eines Kupferkabels von nur $^1/_2$ Zoll Durchmesser auf eine Entfernung von 500 Meilen übertragen kann.

Wenn man z. B. zwei Maschinen durch ein Kabel verbindet, von denen die eine zur Erzeugung des elektrischen Stromes, die andere zur Wiedergewinnung der Arbeit dient, und annimmt, dass der Widerstand der beiden Maschinen A und B zusammen die Einheit und der Widerstand einer Meile des Kabels gleich 0·01 dieser Einheit ist, während die elektromotorische Kraft des Stromes, welcher durch die Leitung fliesst, ebenfalls Einheit ist, so wissen wir, dass die Intensität I des Stromes nach dem Ohm'schen Gesetze $= \frac{E}{R}$ d. h. $= \frac{1}{1{\cdot}01}$ ist. Fügt man nun noch eine zweite solche stromerzeugende und eine zweite stromumsetzende Maschine hinzu und verdoppelt die Kabellänge, so bleibt die Stromstärke genau dieselbe; denn wir erhalten nun $I = \frac{1+1}{1{\cdot}01+1{\cdot}01} = \frac{2}{2{\cdot}02}$

Man erhält demnach eine doppelte Kraftübertragung auf eine doppelte Entfernung, ohne dass die Stromstärke und folglich die Wärme im Kabel ver-

mehrt wird. Vermehrt man die Anzahl der Maschinen alsdann an beiden Enden der Leitung bis auf je 1000 und vertausendfacht man auch die Länge des Kabels, so erhält man immer noch dasselbe Verhältniss, und obgleich man nun eine tausendfache Kraft übertragen kann, hat sich die Stromstärke dadurch nicht verändert, wohl aber die elektromotorische Kraft. Um dieses Problem jedoch praktisch ausführbar zu machen, würde man die Isolation des Kabels ausserordentlich zu vervollkommnen haben und dieses ist die hauptsächlichste Schwierigkeit für die Kraftübertragung auf grosse Distanzen, während die Vermehrung des Durchmessers der Leitung keine zu bedeutende zu sein brauchte.

Um nun die Frage noch näher zu erläutern, wollen wir annehmen, dass eine jede der stromerzeugenden Maschinen einen Widerstand von 40 Ohms habe und einen Strom von einer elektromotorischen Kraft von 400 Volts zu erzeugen im Stande wäre. Eine solche Maschine würde drei bis fünf Pferdekräfte zu ihrem Betriebe bedürfen. Eine jede der Maschinen zur Arbeitwiedergewinnung möge einen Widerstand von 60 Ohms und das Kabel per Meile einen Widerstand von 1 Ohm haben. In diesem Falle wird

$$I = \frac{400}{60 + 40 + 1} = \frac{400}{101}$$

sein, wenn das Kabel eine Meile lang ist. Nimmt man nun an, dass das Kabel 1000 Meilen lang ist, und an jedem Ende desselben 1000 Maschinen sind, deren jede A, respective B gleich ist, so wird

$$I = \frac{1000 \times 400}{1000 \times 101} = \frac{400}{101}$$

sein, d. h. sein Werth wird unverändert bleiben, und wenn man nun voraussetzt, dass die oben angenommene Betriebskraft für den Betrieb einer jeden der Maschinen correct ist, so wird man für den Betrieb der 1000 Maschinen *A*, 3000 bis 5000 Pferdekräfte aufzuwenden haben und von den 1000 Maschinen *B* bei der Annahme eines Resultates von 50% 1500 bis 2500 Pferdekräfte wieder erhalten.

Was die Dicke des zu dieser Kraftübertragung nothwendigen Kabels anbetrifft, so lässt sich dieselbe leicht finden, da wir für 1 Meile desselben einen Widerstand von 1 Ohm angenommen haben. Dieses würde eine Dicke von $^1/_4$ Zoll ergeben, und wünscht man die Kraftübertragung auf 500 Meilen zu beschränken, so würde man den Widerstand des Kabels verdoppeln können, d. h. man würde den Durchschnitts-Flächeninhalt halbiren können, was einen Durchmesser von weniger als $^1/_5$ Zoll ergeben würde.

Wünscht man demnach 1,000.000 Pferdekräfte durch eine 500 Meilen lange Leitung zu senden, so bedürfte es dazu etwa eines 3 Zoll dicken Kabels, und wenn man die elektromotorische Kraft der Maschinen entsprechend erhöhen würde, könnte man diesen Durchmesser beliebig verringern.

Aus allen dem geht hervor, dass man nicht die Kosten eines Kabels von enormen Dimensionen bei der Kraftübertragung auf grosse Distanzen zu fürchten braucht; das wirklich zu lösende Problem wird wie gesagt nur das Auffinden einer geeigneten Isolation sein.

Wir kommen nun zu einer andern, für die Praxis höchst bedeutungsvollen Frage. Es handelt sich nämlich

darum, zu wissen, welchen Betrag der von den stromerzeugenden Maschinen verbrauchten Betriebskraft kann man theoretisch in den Arbeit producirenden Maschinen wieder erhalten, welchen Betrag erhält man bei den bis jetzt construirten Motoren wirklich wieder und auf welche Weise kann man das praktische Resultat dem theoretischen Resultate möglichst nahe bringen.

V.

Die Anwendung der bisher für Kraftübertragung construirten elektrischen Maschinen und die Leistungen, welche man in der Praxis mit denselben erzielen kann.

Ehe man die magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen einer genauen praktischen Untersuchung unterzog, wurde man durch die Theorie zu dem Glauben geführt, dass:

1. die Stromstärke proportional sei der Geschwindigkeit der Rotation der Armatur;

2. der wirksame Magnetismus proportional sei der Stromstärke;

3. die Stromstärke ausserdem proportional sei dem wirksamen Magnetismus, und in Folge dieser doppelten Proportionalität

4. die Stromstärke und der wirksame Magnetismus proportional sei dem Quadrate der Tourenzahl der Armatur.

Ferner folgerte man, dass, um die bei der Rotation der Armatur auftretende magnetische Anziehung zwischen Armatur und inducirenden Magneten zu überwinden, die Betriebskraft der magnetischen Anziehung (d. h. dem wirksamen Magnetismus) proportional sein müsse, und da diese mit dem Quadrate der Rotations-Geschwindigkeit wächst, die Betriebskraft ebenfalls mit dem Quadrate der Rotations-Geschwindigkeit wachsen, ausserdem aber auch der Geschwindigkeit, mit der die Anziehung überwunden wird, proportional sein müsse. Es ergab sich also für die Betriebskraft eine Proportionalität einerseits mit der Umdrehungs-Geschwindigkeit, andererseits mit dem Quadrate dieser Umdrehungs-Geschwindigkeit, und dieses wurde durch den Satz ausgedrückt:

5. die Betriebskraft ist der dritten Potenz der Umdrehungs-Geschwindigkeit proportional.

Sobald man jedoch praktische genaue Messungen vornahm, ergab sich, dass die obigen Sätze bedeutend modificirt werden müssen, wenn man sie auf die Wirkung der dynamoelektrischen Maschinen anwenden will. (Vgl. Cap. V, Bd. I der Elektrotechnischen Bibliothek.)

Bei diesen Sätzen ist nämlich der Umstand ganz vernachlässigt, dass in den Maschinen eine grosse Anzahl von Inductionsströmen auftritt, die den nutzbaren Strömen entgegenwirken.

Am bedeutendsten wird die Richtigkeit der Sätze in Bezug auf die Stromstärke durch diese Inductionserscheinungen beeinträchtigt.

In den Metallmassen der rotirenden Armatur und der Axe entstehen nämlich die sogenannten Foucault-

schen Ströme,*) welche die Wirkung der Maschine dadurch schwächen, dass sie erstens auf Kosten eines Theiles der aufgewendeten Betriebskraft entstehen, dass sie zweitens durch ihre Richtung den Magnetismus der Armatur schwächen, und drittens, da sie keine Arbeit zu verrichten haben, in Wärme umgesetzt werden, welche den inneren Widerstand der Maschine vermehrt.

Aehnliche Ströme entstehen in den Polstücken der inducirenden Magnete, und ebenso hindert bei schneller Drehung der Armatur die Verschiebung der Pole die Wirksamkeit der Maschine bedeutend, da durch dieselbe Kraft verbraucht und Wärme erzeugt wird; das grösste Hinderniss für das Anwachsen der Stromstärke proportional mit der Rotations-Geschwindigkeit entsteht jedoch dadurch, dass die in den Armaturwindungen entstehenden Ströme dem Magnetismus der inducirenden Magnete entgegenwirken. Durch alle diese Effecte wird das rasche Wachsen der Stromstärke einestheils sehr vermindert, erreicht andererseits mit der Zeit ein Maximum und erleidet bei noch schnellerer Drehung eine Abnahme. Die aufzuwendende Betriebskraft wächst demnach ebenfalls nicht in dem theoretisch angenommenen Verhältniss, sondern nimmt bei den besten bisher construirten Maschinen nur etwa mit der eineinhalbfachen Potenz der Tourenzahl zu, wie die Experimente von Tresca, Gramme, Fröhlich u. A. gezeigt haben.

Betrachtet man nun die Vorgänge, welche bei zwei zum Zwecke der Kraftübertragung mit einander

*) Foucault'sche Ströme nennt man die Ströme, welche in metallischen Leitern überall da entstehen, wo diese sich in einem magnetischen Felde bewegen (Erhitzung einer Kupferplatte, welche im magnetischen Felde rotirt etc.).

verbundenen Maschinen stattfinden, so werden dieselben sich gestalten, wie folgt:

Nach den in Capitel IV gegebenen physikalischen Gesetzen hängt der Nutzeffect der Kraftübertragung ab von dem Verhältniss $\frac{e}{E}$, und wenn e sowohl als E von der Umdrehungs-Geschwindigkeit der respectiven Maschinen abhängen würde, so könnte man durch eine richtige Regulirung der Umdrehungszahl beider Maschinen und durch eine stete Vergrösserung derselben in gleichem Verhältnisse die von der einen Maschine übertragene und von der anderen Maschine reproducirte Kraft ins Grenzenlose vermehren. Nach dem Gesagten jedoch wächst erstens die elektromotorische Kraft nicht proportional der Tourenzahl, da sie wegen der Inductionseinflüsse sich nach und nach einem Maximum nähert, und zweitens ist bei den dynamoelektrischen Maschinen eine gewisse Tourenzahl (die sogenannten todten Touren) nothwendig, ehe überhaupt ein Strom entsteht. Zwischen diesem Minimum und Maximum der Tourenzahl liegt also die Regulirbarkeit der Leistungen der Maschinen, und nur mit Rücksichtnahme auf diese Grenzen ist das Verhältniss der Tourenzahl der beiden zur Kraftübertragung verbundenen Maschinen massgebend für den Nutzeffect. Man kann unter diesen Umständen den für die Kraftübertragung sehr wichtigen Satz aufstellen, dass der Nutzeffect der elektrischen Kraftübertragung um so grösser ist, je grösser die absolute Anzahl der Umdrehungen und je kleiner gleichzeitig die Differenz der Umdrehungszahlen beider Maschinen gegenüber den Umdrehungszahlen selbst ist. Da nun die Stromstärke

$\frac{E}{R}$ trotz zunehmender Rotation einer Maschine constant bleibt, so ist es nur das Wachsen von $\frac{E}{R}$ und $\frac{e}{R}$ oder von E und e, welches hier in Betracht kommt. Es ist also unter allen Umständen $N = \frac{e}{E}$, was wir in Capitel III bereits festgestellt hatten. Je grösser demnach die Werthe für e und E, und je kleiner der Werth von $E - e$ ist, desto grösser der Nutzeffect.

Marcel Deprez zeigt in sehr einleuchtender Weise,*) wie man auf anderem Wege zu demselben Resultate gelangen kann, und macht die folgenden Schlüsse:

Wenn man elektrische Maschinen als arbeitserzeugende Motoren anwendet, so sendet man durch ihre Spiralen einen Strom (einer Batterie z. B.), welcher in dem magnetischen Felde Inductionswirkungen hervorruft und endlich die Armatur in Rotation versetzt. Diese Rotation ist mechanische Arbeit, deren Grösse im Verhältniss zur aufgebrauchten Betriebskraft gemessen wird, wie diezweier einander entgegenwirkender paralleler Kräfte.

Die mechanische Arbeit, welche per Umdrehung verrichtet wird, ist bei jeder Maschine proportional der Intensität des magnetischen Feldes und der Intensität des Stromes, ist jedoch unabhängig von der Rotations-Geschwindigkeit der Armatur.

Um dies zu beweisen, denke man sich irgend eine elektrische Maschine, deren Armatur mit einer, durch

*) La Lumière Electrique, 1881, Heft 71.

ein bestimmtes Gewicht beschwerten Prony'schen Bremse versehen ist; dadurch wird erzielt, dass, sowie die Rotation beginnt, ein gegebener Widerstand überwunden wird, und dass bei jeder Umdrehung eine constante Arbeit verrichtet werden muss. Sendet man nun durch die Spiralen der Armatur den Strom einer Batterie einer kleinen Anzahl von Elementen, in deren Stromkreis ein Galvanometer eingeschaltet ist, so wird Anfangs die Maschine stillestehen; fügt man dann nach und nach mehr Elemente zu der Batterie hinzu, so wird schliesslich der Strom stark genug werden, um die Armatur in Rotation zu versetzen. Misst man in dem Augenblicke, in dem die Bewegung beginnt, die Stromstärke und fügt noch mehr Elemente zu der Batterie hinzu, so wird die Rotation der Armatur immer schneller und schneller werden, die Stromstärke wird jedoch vollständig constant bleiben, wie weitere Beobachtungen des Galvanometers zeigen werden. Man sieht also, dass, um die erste mechanische Arbeit, welche durch das Gewicht der Bremse bestimmt wird, zu leisten, eine bestimmte Intensität des Stromes nothwendig war. Dieser mechanischen Arbeit, welche per Umdrehung constant bleibt, entspricht die constant bleibende Stromstärke, und nur die absolute Arbeit, d. h. die Arbeit per Zeiteinheit, wächst mit der elektromotorischen Kraft und der Intensität des magnetischen Feldes.

Dieses Resultat wird noch klarer, wenn man eine magnetelektrische Maschine mit Stahlmagneten anwendet und den Strom einer Anzahl von Elementen durch ihre Armatur sendet.

Nehmen wir an, dass die erste Bewegung sich zeigt, sobald die Anzahl der Elemente n_0 erreicht hat. Dieser Punkt deutet den Moment an, in welchem der Widerstand der Bremse durch die Stromstärke equilibrirt wird. Messen wir nun die Rotations-Geschwindigkeit und fügen wir der Batterie 1, 2, 3, 4 . . . n weitere Elemente (ausser den n_0, welche zur Inbewegungsetzung dienten) hinzu, so werden wir bei weiteren Messungen der Tourenzahl finden, dass dieselbe mit jedem weiteren Elemente um eine Grösse v wächst, d. h. dass $3v$, $4v$ . . . nv dem Hinzufügen von 3, 4 . . . n weiteren Elementen entspricht. Die Bewegung einer Maschine kann nun aber, wie bereits in Capitel IV gesagt wurde, nicht stattfinden, ohne dass eine bestimmte elektromotorische Gegenkraft erzeugt wird, welche der elektromotorischen Kraft der Batterie entgegenwirkt, und diese elektromotorische Kraft ist bei Anwendung einer Maschine mit Stahlmagneten proportional der Rotations-Geschwindigkeit, weil die Intensität des magnetischen Feldes constant bleibt. Wenn man nun bedenkt, dass die Rotations-Geschwindigkeit proportional der Anzahl von Elementen wächst, welche man der Batterie hinzufügt, so wird man leicht einsehen, dass Folgendes stattfindet. Jedesmal, wenn man die Batterie durch Hinzufügung eines neuen Elementes um eine gegebene elektromotorische Kraft verstärkt, wächst die Stromstärke für einen Augenblick und die Rotations-Geschwindigkeit nimmt proportional zu, da das Gleichgewicht der arbeiterzeugenden und widerstandleistenden Kraft für eine gewisse Zeit aufgehoben ist. Das Anwachsen der Rotations-Geschwindigkeit dauert fort, bis eine neue

elektromotorische Gegenkraft entstanden ist, die der elektromotorischen Kraft der Batterie genau die Wage hält, und sowie dieser Moment eingetreten ist, ist die Stromstärke wieder constant. Die mechanische Kraft und die Arbeit bleiben also per Umdrehung constant, die Umdrehungszahl per Zeiteinheit jedoch d. h. die absolute Arbeit, nimmt zu.

In den dynamoelektrischen Maschinen ist der Vorgang, obschon ein wenig complicirter, im Grunde genommen derselbe, und in allen Fällen ergiebt die Untersuchung das wichtige Resultat, dass eine bestimmte Stromstärke I in einer jeden elektrischen Maschine, die als Motor benützt wird, einer bestimmten mechanischen Arbeit entspricht.

Zieht man nun den logischen Schluss aus diesem Resultate, so kommt man wieder zu der Gleichung

$$N = \frac{e}{E}.$$

Wenn wir z. B. von dem Momente ausgehen, wo bei dem obigen Experimente die Batterie diejenige Zusammensetzung hatte, welche den Beginn der Rotation der Maschine ermöglichte, und wie oben die Elementen-Anzahl der Batterie in diesem Momente mit n_0 bezeichnen, so wird der Stromstärke I alsdann ein Zinkverbrauch Z per Element entsprechen und ein Zinkverbrauch von $n_0 Z$ für die ganze Batterie, wie aus dem Faraday'schen Gesetze folgt. Fügt man als dann n Elemente hinzu und bezeichnet man mit v die Rotations-Geschwindigkeit, welche die Maschine erhält, wenn man ein Element den n_0 Elementen der Batterie hinzufügt, so erhält man alsdann die Rotations-

Geschwindigkeit $n\,v$. Ist ferner T die mechanische Arbeit per Umdrehung, so wird der Zinkverbrauch nunmehr $(n_0 + n)\,Z$ sein; denn da die Stromstärke unverändert bleibt, so wird nach Faraday auch der Zinkverbrauch Z per Element unverändert bleiben, und man erhält so, nach dem Gesetze der Erhaltung der Energie, ein Mass für die ganze Arbeitsleistung der Batterie. Diese Arbeitsleistung ist proportional der Zahl von $n_0 + n$ Elementen, d. h. der positiven elektromotorischen Kraft E. Auf der anderen Seite macht die Maschine $n\,v$ Umdrehungen, und da die Arbeit T per Umdrehung constant bleibt, so erhält man eine absolute Arbeit von $n\,v\,T$; die nutzbare Arbeit ist also proportional der elektromotorischen Gegenkraft e, welche wiederum der Rotations-Geschwindigkeit V proportional ist, da die Intensität des magnetischen Feldes sich nicht geändert hat. Das Güteverhältniss, welches durch die aufgewendete Arbeit dividirt, durch die nutzbar gemachte Arbeit bestimmt wird, ist demnach proportional $\frac{e}{E}$.

Wendet man anstatt der Batterie eine stromerzeugende Maschine an, deren Strom zur Bewegung einer zweiten Maschine benutzt wird, so gelten ganz dieselben Gesetze wie bei Anwendung der Batterie. Der Einfachheit halber nehme man an, dass die beiden Maschinen gleich gross und auf ganz gleiche Weise construirt sind. Die erste Maschine sei mit irgend einem Motor verbunden, der ihre Armatur in Rotation versetzt, die zweite Maschine diene zum Betriebe irgend eines Apparates oder sei mit einer Prony'schen Bremse verbunden, wie in dem obigen Falle.

Wird dann die erste Maschine durch den mit ihr verbundenen Motor in Bewegung gesetzt, so nimmt die Rotation und die dadurch erzeugte Stromstärke und elektromotorische Kraft allmählich zu, bis die Stromstärke den Grad erreicht hat, der genügt, die zweite Maschine in Bewegung zu setzen. — Von diesem Augenblicke an bleibt die Stromstärke constant, und wenn man nun die Rotations-Geschwindigkeit der ersten Maschine zunehmen lässt, so wird auch die Rotations-Geschwindigkeit der zweiten Maschine zunehmen, geradeso, wie die Rotations-Geschwindigkeit der Maschine in dem früher gegebenen Beispiele zunahm, wenn man die Batterie um ein neues Element vermehrte. Die Stromstärke wird hingegen constant bleiben. Die absolute Arbeit einer jeden der beiden Maschinen kann also gemessen werden durch das Product der Rotations-Geschwindigkeit und der Arbeit per Umdrehung, und der Gewinn der Kraftübertragung ergiebt sich alsdann, wie bereits früher erwähnt, unter Berücksichtigung gewisser Grenzen aus der relativen Rotations-Geschwindigkeit der beiden Maschinen und aus der absoluten Rotations-Geschwindigkeit einer jeden Maschine.

Leider lässt sich die Rotations-Geschwindigkeit der Maschinen nicht über eine bestimmte Grenze hinaus vermehren, erstens weil, wie oben gesagt, bei schneller Rotation die störenden Inductionseinflüsse zunehmen, und zweitens weil die kleinen bisher construirten Maschinen durch den Einfluss der Centrifugalkraft zerstört werden, sowie die Rotations-Geschwindigkeit eine verhältnissmässig geringe Höhe erreicht. Eine Hauptbedingung für die Construction von Maschinen zur Kraftübertragung.

von denen man Ströme von sehr hoher Spannung erwartet, ist daher, denselben verhältnissmässig grosse Dimensionen zu geben. (Vgl. Bd. I d. E. B., S. 188 u. 207.)

Wünscht man jedoch die bis jetzt construirten dynamoelektrischen Maschinen zur Kraftübertragung anzuwenden, so kann man auch dadurch die elektromotorische Kraft derselben steigern, dass man ihren inneren Widerstand vermehrt, welches man z. B. durch Anwendung einer grösseren Anzahl von Drahtwindungen auf der Armatur erreichen kann. Die Leistungsfähigkeit der auf diese Weise modificirten Gramme'schen Maschinen (Typus *C*) hat Marcel Deprez mit ganz einfachen arithmetischen Hilfsmitteln berechnet, und die Richtigkeit seiner Berechnung wurde ziemlich deutlich bewiesen durch die Experimente, welche Herr Deprez während der diesjährigen Münchner Elektricitäts-Ausstellung anstellte, und wobei es ihm gelang, mittelst eines einfachen Telegraphendrahtes die Kraft eines Wasserfalles in der Nähe von Miesbach nach dem 57 Kilometer entfernten Münchner Glaspalast zu übertragen. Nach Aussage französischer Blätter*) gewann er mehr als 60% der aufgewendeten Kraft wieder, und obgleich die genauen Resultate, welche das Untersuchungscomité in München mit der Deprez'schen Methode erzielte, noch nicht bekannt sind, so ist doch der Name des französischen Physikers, sowie die Klarheit seiner Auseinandersetzungen eine genügende Bürgschaft für die Correctheit der obigen Angabe.

Die Berechnungen von Deprez beziehen sich auf zwei ganz gleichmässig construirte Gramme'sche Ma-

*) Siehe auch Capitel XII dieses Bandes.

schinen des Typus *C*, deren Leistungsfähigkeit von der Commission der englischen Kriegsschule genau gemessen wurde, und sind den Berechnungen diese Messungen zu Grunde gelegt, deren Hauptdaten die folgenden sind:

Anzahl der Umdrehungen per Minute . . .	1200
Intensität des Stromes in Ampères	81·22
Elektromotorische Kraft in Volts	69·09
Absorbirte Betriebskraft in Kilogramm-Meter per Secunde	579
Absorbirte Betriebskraft per Umdrehung in Kilogramm-Meter	29
Widerstand der inducirenden Magnete in Ohms	0·15
Widerstand der Ringarmatur in Ohms . .	0·06

Giebt man nun dem auf den Elektromagneten sowohl als auf der Ringarmatur befindlichen Drahte eine Durchschnittsfläche, welche nur $^1/_{50}$ der früheren beträgt, und lässt man das Gesammt-Volumen des aufgewickelten Drahtes unverändert, so wird der innere Widerstand der Maschine 2500 Mal so gross; denn da die Drahtlänge nun das 50fache der früheren Drahtlänge und da die Durchschnittsfläche nur $^1/_{50}$ der ursprünglichen ist, so ist der Widerstand $= 50 \times 50$, d. h. 2500 Mal so gross, als bei den gewöhnlichen Gramme-Maschinen des Typus *C*.

Man erhält also folgende Abänderung der oben gegebenen Daten:

Widerstand der inducirenden Magnete in Ohms	375
Widerstand der Ringarmatur	150
Summe	525

Verbindet man zwei auf diese Weise modificirte Gramme'sche Maschinen durch einen gewöhnlichen galvanisirten eisernen Telegraphendraht, der einen Durchmesser von 4 Mm. und eine Länge von 50 Km. hat, so berechnet sich der Gesammtwiderstand, wie folgt:

Stromerzeugende Maschine, Widerstand in Ohms	525
Leitung (50 × 9) Ohms	450
Arbeitgebende Maschine	525
Summe	1500

Um nun die Intensität des magnetischen Feldes gerade so zu lassen, wie sie den Daten der Chathamschen Versuche entspricht, muss man das Product der Anzahl der Drahtwindungen und der Stromstärke unverändert erhalten. Da aber die Drahtlänge 50 Mal so gross ist wie zuvor und demnach auch 50 Mal so viel Windungen auf der Armatur vorhanden sind, so muss die Stromstärke auf $^1/_{50}$ reducirt werden, d. h. anstatt einer Stromstärke von 81·22 Ampères muss man eine Stromstärke von nur 1·624 Ampères zu erhalten suchen.

Um diese Stromstärke im ganzen Stromkreise zu erhalten, bedarf man einer elektromotorischen Kraft von 1·624 × 1500 Volts, d. h. von 2437 Volts; durch Vermehrung der Drahtwindungen auf das 50fache würde aber die elektromotorische Kraft ebenfalls 50 Mal so gross werden wie früher, wenn man die Rotations-Geschwindigkeit unverändert liesse, d. h. bei einer Geschwindigkeit von 1200 Umdrehungen per Minute würde die elektromotorische Kraft = 69·9 × 50 = 3495 Volts sein.

Wünscht man also nur 2437 Volts, so muss man die Rotations- Geschwindigkeit entsprechend reduciren und zwar, wie aus dem oben Gesagten hervorgeht, im Verhältniss von 2437 zu 3495; dieselbe müsste demnach gleich $1200 \times \frac{2437}{3495}$ Umdrehungen per Minute, d. h. $= 835{\cdot}5$ Umdrehungen sein, und die zur Erzeugung eines solchen Stromes nothwendige Betriebskraft würde $\frac{2437 \times 1624}{9{\cdot}81} = 403$ Kg.-Mtr. per Secunde betragen.

Da die Anzahl der Windungen der inducirenden Magnete sowohl, als auch der Armatur verfünfzigfacht wurde, während die Stromstärke auf $^1/_{50}$ reducirt wurde, so ist die mechanische Arbeit, die durch die Einwirkung des Inductors auf die Armatur entsteht, dieselbe geblieben, d. h. wenn man die zweite Maschine in Bewegung setzt, indem man die Stromstärke constant erhält (1·624 Ampère), so wird dieselbe 29 Kg.-Mtr. Arbeit per Umdrehung leisten.

Wünscht man eine Arbeit von 10 Pferdekräften per Secunde zu erhalten (750 Kg.-Mtr.), so muss die Maschine $\frac{750}{29}$ Umdrehungen per Secunde oder $\frac{750 \times 60}{29} = 1552$ Umdrehungen per Minute machen.

Um eine constante Stromstärke aufrecht zu erhalten, muss jedoch, wie bereits gesagt wurde, auch die Differenz der Rotations-Geschwindigkeiten beider Maschinen constant bleiben. Die Rotations-Geschwindigkeit muss daher auf $1552 + 835$ gesteigert werden, d. h. sie muss 2387 Umdrehungen per Minute betragen.

Wie früher auseinandergesetzt wurde, ist die Arbeit jeder Maschine per Umdrehung ganz unabhängig von der Rotations-Geschwindigkeit; die stromerzeugende Maschine wird also ebenfalls 29 Kg.-Mtr. per Umdrehung per Secunde absorbiren, d. h. $\frac{29 \times 2387}{60}$ Kg.-Mtr. oder 15·4 Pferdekräfte.

Der Gewinn bei der Kraftübertragung vermittelst dieser beiden Maschinen, d. h. das Verhältniss der wiedergewonnenen zur übertragenen Kraft ergiebt sich aus der Gleichung $\frac{29 \times 1552}{29 \times 2387} = \frac{1552}{2387} = 65\%$.

Die Totalarbeit von 1154 Kg.-Mtr., welche von der stromerzeugenden Maschine absorbirt wird, vertheilt sich also, wie folgt:

	per Secunde
Arbeit, welche von der zweiten Maschine wiedergewonnen wird	750 Kg.-Mtr.
Im ganzen Stromkreise als Wärme auftretende Arbeit	404 »
	1154 Kg.-Mtr.

Wünscht man ganz genau zu wissen, wie sich die im ganzen Stromkreise auftretende Wärme auf die einzelnen Theile desselben vertheilt, so lässt sich dieses Resultat leicht finden, wenn man bedenkt, das $Q = I^2 R$ ist, und da wir die Widerstände der einzelnen Theile kennen, so braucht man nur die Widerstände mit dem Quadrate der Stromstärke zu multipliciren und durch 9·81 zu dividiren, um die Antwort in Kilogramm-Meter zu erhalten

Auf diese Weise findet man: Kg.-Mtr

für die stromerzeugende Maschine $\frac{525 \times 1{\cdot}624^2}{9{\cdot}81} = 141$

für die arbeitleistende Maschine $\frac{525 \times 1{\cdot}624^2}{9{\cdot}81} = 141$

für den Leitungsdraht . . . . $\frac{450 \times 1{\cdot}624^2}{9{\cdot}81} = 121$

403

Aus der ganzen Berechnung geht also hervor, dass man mit zwei gewöhnlichen Gramme'schen Maschinen des Typus *C*, deren Windungen auf die angegebene Weise modificirt wurden, 10 Pferdekräfte durch einen gewöhnlichen Telegraphendraht auf eine Entfernung von 50 Km. übertragen kann, wenn man an der Anfangsstation etwa 16 Pferdekräfte aufwendet.

Das Resultat wird in der Praxis allerdings etwas modificirt werden durch störende Inductionseinflüsse, Reibung, Vibrationen u. s. w., kann jedoch im Allgemeinen als correct gelten, und was die für eine solche Kraftübertragung nothwendige Isolation anbetrifft, so ist dieselbe durch bereits bekannte Methoden zu erreichen und nicht nur eine Hoffnung, die auf Vervollkommnung der Isolationsmethoden in der Zukunft basirt ist, wie z. B. die der Isolation eines Kabels, um die Kräfte der Niagarafälle zu übertragen, wie in Capitel IV auseinandergesetzt wurde.

Die elektromotorische Kraft, welche in dem Deprez-schen Beispiele von der stromerzeugenden Maschine bei 2387 Umdrehungen per Minute entwickelt wird, würde nämlich etwa doppelt so gross sein, wie die, welche einer Umdrehungs-Geschwindigkeit von 1200 Um-

Digitized by Google

drehungen entspricht und die, wie oben angegeben, = 3495 Volts ist. Wir erhalten also eine elektromotorische Kraft von 6952 Volts, d. h. eine elektromotorische Kraft, die der Leistung von 6440 Daniell'schen Elementen entspricht.

Obgleich für einen Strom von so hoher Spannung allerdings eine sehr sorgfältige Isolation der Leitungsdrähte nothwendig, ist diese Isolation doch bereits bei den Minenzündern erreicht, durch welche man oft Ströme von weit höherer Spannung mehrere Kilometer weit zu leiten im Stande ist. Man sieht also, dass bereits mit den jetzt construirten Maschinen und mit den gegenwärtig bekannten Hilfsmitteln eine grosse Anzahl von Problemen der Kraftübertragung gelöst werden kann; weit günstiger jedoch werden sich die Resultate stellen, wenn man die Construction der Maschinen auf eine rationelle Weise verbessert hat und, wir wiederholen das nochmals, statt der kleinen Maschinen solche von grösseren Dimensionen in der Praxis anwendet. Edison hat in dieser Hinsicht einen Schritt in der rechten Richtung gethan und der einsichtsvolle Fachmann wird erkennen, dass Deprez die Sachlage ganz richtig erkannte, als er in einer seiner Vorlesungen in Paris die Worte aussprach: »l'avenir est aux grandes machines«.

VI.

Die elektrischen Leitungen.

Aus dem auf Seite 40 erläuterten Ohm'schen Gesetz lässt sich für Leiter von prismatischer oder cylindrischer Gestalt, also z. B. für Drähte nachweisen, dass der Widerstand R der Länge l direct und dem Querschnitt f umgekehrt proportional ist, also

$$R = \varphi \frac{l}{f}$$

wenn man unter φ den Widerstand versteht, welcher ein Stück des Leiters von der Länge 1 und von dem Querschnitt 1 haben würde. Diese Grösse φ ist von der materiellen Beschaffenheit des Leiters abhängig und heisst sein specifischer Widerstand.

Werden die Längen (l) in Metern und die Querschnitte (f) in Quadrat-Millimetern gemessen, so ist der specifische Widerstand des Quecksilbers gleich einer Siemens'schen Widerstandseinheit. Dagegen wäre der specifische Widerstand des Quecksilbers = 0·000001 Siemenseinheiten, wenn man die Querschnitte (f) in Quadratmetern ausdrücken würde. Legen wir die erstere Zahl zu Grunde, so erhalten wir folgende Verhältnisszahlen für die specifischen Widerstände der gebräuchlicheren Metalle und Legirungen bei Null Grad C.:

Quecksilber	1·0000
Geglühtes Neusilber	0·2775
Reines Blei	0·2075

Geglühtes Platin	0·1647
Geglühtes Eisen	0·1272
Reines Zinn	0·1214
Geglühter Stahl	0·1149
Geglühtes Messing	0·0723
Reines, gehämmertes Cadmium	0·0716
Reines, gehämmertes Zink	0·0621
Geglühtes Aluminium	0·0324
Reines Gold	0·0227
Ausgeglühtes Silber ($^{750}/_{1000}$)	0·0201
Reines Kupfer, ausgeglüht	0·0179
Reines Silber, ausgeglüht	0·0161

Geringe Beimengungen anderer Metalle bringen schon sehr bedeutende Veränderungen an den Zahlen der specifischen Widerstände hervor; insbesondere besitzen die im Handel vorkommenden Kupferdrahtsorten mitunter Widerstände bis zu 0·0577.

Uebrigens hängt der Leitungswiderstand auch von der Temperatur ab und wächst im Allgemeinen mit der zunehmenden Erwärmung des Leiters. Bezeichnet man mit r_0 den Widerstand bei Null Grad C., so ist der Widerstand bei t^0 aus folgender Formel zu berechnen:

$$r_t = r_0 (1 + \alpha t + \beta t^2),$$

in welcher z. B. für Platin $\alpha = 0{\cdot}002454$ und $\beta = 0{\cdot}000000594$ ist. — Abweichend giebt Siemens folgende Formel:

$$r_t = r_0 (\alpha T^{1/2} + \beta T + \gamma),$$

in welcher für Platin $T =$ der absoluten Temperatur, also $= 273 + t$, $\alpha = 0{\cdot}039369$, $\beta = 0{\cdot}00216407$ und $\gamma = 0{\cdot}24127$ zu setzen ist. Diese Formel liegt dem Siemens'schen Widerstands-Pyrometer zu Grunde. Ausser

der Leitungsfähigkeit für den elektrischen Strom spielt auch die absolute Festigkeit bei der Auswahl des Materials für eine elektrische Leitung eine grosse Rolle, und dann kommt noch der Preis in Betracht. — Bezüglich der beiden erstgenannten Anforderungen hat die bekannte Firma Felten & Guilleaume in Köln eine Reihe hochinteressanter Versuche mit den für Draht gebräuchlichsten Materialien ausgeführt, deren Resultate in den nachstehenden Tabellen zusammengestellt sind. Die erste derselben giebt in der ersten Verticalcolonne die Bruchfestigkeit für 1 Quadrat-Millimeter Querschnitt in Kilogramm an, die vier folgenden denselben Werth für die gebräuchlichsten Drahtstärken. Weitere vier Colonnen geben für dieselben Stärken den Leitungswiderstand für 1 Kilometer Drahtlänge in Ohms oder Siemenseinheiten an und zwar bei einer Temperatur von $+15^{0}$ C. Die letzte Colonne endlich enthält die Leitungsfähigkeit im Vergleich zum Kupfer; h bedeutet harte, w weiche Qualität.

Material		Bruchfestigkeit in Kilogramm für 1 Qu.-Mill. Querschnitt	Bruchfestigkeit in Kilogramm für 4·0 Millimeter Drahtdicke	Bruchfestigkeit in Kilogramm für 2·5 Millimeter Drahtdicke	Bruchfestigkeit in Kilogramm für 2·0 Millimeter Drahtdicke	Bruchfestigkeit in Kilogramm für 1·25 Millimeter Drahtdicke	Widerstand in Ohms für 4 Millimeter Drahtdicke	Widerstand in Ohms für 2·5 Millimeter Drahtdicke	Widerstand in Ohms für 2·0 Millimeter Drahtdicke	Widerstand in Ohms für 1·25 Millimeter Drahtdicke	L %
Kupferdraht		28	352	137	88	34	1·5	3·7	5·8	14·8	100
Phosphorbronze		55	690	270	173	67	6·5	16·8	26·2	67·4	22
Verzinkter schwedischer Hammereisendraht .	w	36	452	176	113	44	8·7	22·4	34·9	90	16·5
	h	50	628	245	157	61					
Verzinkter schwedischer Bessemerstahldraht .	w	40	502	196	126	49	9	23·1	36·0	92·6	16·0
	h	60	754	294	188	73					
Verzinkter deutscher Holzkohleneisendraht	w	40	502	196	126	49	10·3	26·4	41·1	106·0	14·0
	h	55	690	270	173	67					
Verzinkter Siemens-Martin-Flusseisendraht .	w	42	528	206	132	51	10·8	27·7	43·3	111·5	13·3
	h	65	816	319	204	79					
Verzinkter Coakseisendraht	w	40	502	196	126	49	12·0	30·8	48·0	123·5	12·0
Verzinkter Patent-Gussstahldraht	w	95	1193	466	298	116	13·7	35·2	54·9	141·2	10·5
	h	140	1758	686	440	171	15·2	38·9	60·6	156·0	9·5

Eine zweite Versuchsreihe lieferte die folgenden Resultate:

Material	Bruchfestigkeit in Kilogramm für							Widerstand in Ohms für							L %
	1 Qu.-Mill. Querschnitt	1	1·25	2	2·5	3	4	5	1	1·25	2	2·5	3	4	5	
		Millimeter Drahtdicke														
Reiner Kupferdraht .	28	21·1	34	88	137	197	352	549	23·3	14·8	5·8	3·7	2·5	1·5	0·9	100
Weiller's Patent-Silicium-Kupferdraht .	70	55·6	87	219	343	494	879	1374	38·1	22·2	9·5	5·1	4·2	2·4	1·5	61
Weiller's Phosphorbronze	90	70·2	112	282	441	636	1131	1766	76·4	41·6	19·3	10·2	8·4	5·6	3·0	30
Verzinkter schwedischer Eisendraht .	36	28·0	44	113	176	254	452	706	140	90	34·9	22·4	15·4	8·7	5·5	16·5
Verzinkter Bessemerstahl	40	31·2	49	126	196	282	502	785	165·3	106	41·1	26·4	18·2	10·3	6·5	16
Verzinkter Siemens-Martin-Stahl . .	42	32·7	51	132	206	296	528	824	174·2	111·5	43·3	27·7	19·2	10·8	6·9	13·3
Verzinkter Patent-Gussstahldraht . .	95	74·1	116	298	466	671	1193	1864	220	141·2	54·9	35·2	24·3	13·7	8·7	10·5

Eine dritte Tabelle enthält Angaben über Leitungsdrähte aus verschiedenem Material bei einem gleichen Leitungswiderstand und zwar ist derselbe bei 15° C. auf 68 Siemenseinheiten oder Ohms für 1 Kilometer Drahtlänge festgesetzt. Bei der Berechnung der Maximal-Spannweiten und Minimal-Durchhängungen sind die nachfolgenden Formeln zu Grunde gelegt worden:

1. Die Spannweite $a = \sqrt{\frac{8 \cdot f \cdot S}{g}}$

2. Die Durchhängung $f = \frac{g\, a^2}{8\, S}$

in denen g das Gewicht pro laufenden Meter in Kilogramm und S die zulässige Spannung $= 1/4$ der Bruchbelastung bedeutet.

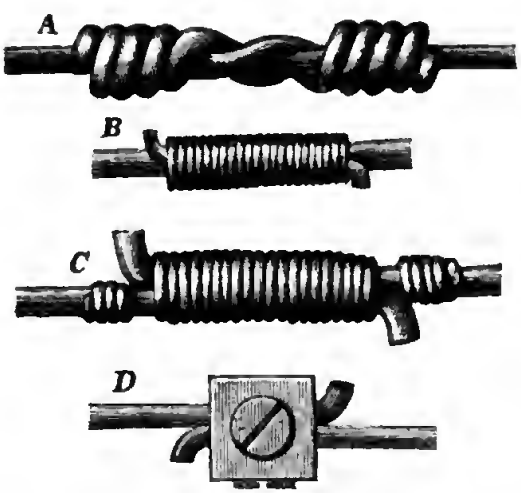
Material	Drahtdicke		Bruchfestigkeit für			Gewicht per Kilometer	Max.-Spannw. b. e. Durchh. v. 0·75 a. 100 M	Min.-Durchh. b. e. Spannw. v. 100 M.	Verhältnisszahl der Spannweite	Preis für		
	berechnet	abgerundet	1 Qu.-Mll. Querschnitt	den Versuchsdraht	Verhältnisszahl					100 Kilogr	1 Kilometer	Verhältnisszahl
	Mm.		Kg.			Kg	Meter			Mark		
Phosphorbronze . .	1·25	1·25	55	67	100	10·94	92	0·82	100	320	35	100
Kupfer . .	0·58	0·6	28	8	12	2·52	48	1·58	52	240	6·05	17·3
Verzinkter Coakseisendraht . .	1·68	1·7	40	91	136	17·34	79	0·95	86	39	6·76	19 1/3
Verzinkter Flusseisendraht . .	1·60	1·6	65	131	196	15·36	128	0·59	139	49	7·53	21·5
Verzinkter Patent-Gussstahl- w	1·80	1·8	95	242	361	19·44	187	0·40	203	64	12·44	35·5
draht . h	1·89	1·9	140	397	593	21·66	275	0·27	300	63	14·94	42·7

Die ausgiebigsten Erfahrungen über die Erfordernisse guter elektrischer Leitungen hat man bei den elektrischen Telegraphen gemacht, deshalb soll im Nachfolgenden zunächst auch von diesen die Rede sein und der besonderen Eigenschaften von Leitungen zum Zwecke der Kraftübertragung später gedacht werden. Als wichtigste Anforderungen an eine elektrische Leitung gelten: Gute Leitungsfähigkeit, Continuität und möglichst vollkommene Isolirung. An Stelle des ursprünglich stets angewandten Rückleitungsdrahtes lässt man jetzt die Enden der elektrischen Leitung von der Anfangs- und hinter der Endstation unter die Erde auslaufen und zwar entweder an grosse Kupfer- oder Zinkplatten genietet, in Gruben, womöglich unter dem Niveau des Grundwassers, vergraben, oder an Eisenbahnschienen, Eisenröhren etc. befestigt, welche in den Boden eingetrieben sind. Als vorzügliche Erdleitungen gelten die Metallröhren der Gas- und Wasserleitungen. Eine Erdleitung ist nur dann gut, wenn die Enden der Hauptleitung, also die Erdplatten und Erdschienen etc. in eine permanent feuchte Erdschicht zu liegen kommen. Nach Wheatstone ist übrigens die Erde nicht als leitende Verbindung der beiden Elektricitätsquellen, sondern als eine Art Reservoir anzusehen, in welches der elektrische Strom abfliesst.

Oberirdische Leitungen werden nur selten mehr aus Kupfer, sondern des billigeren Preises halber aus Eisen oder Stahl angefertigt und meistens 3—5 Mm. dick genommen. Für Telephonleitungen ist man vielfach bis auf 2 Mm. heruntergegangen, andererseits geht man für südliche Länder auch manchmal bis zu

8 Mm. Die einzelnen Drähte, wie sie von den Walzwerken oder Drahtziehereien, in Längen bis zu 80 und 100 M. geliefert werden, erhalten an den Enden untereinander eine solche Verbindung, dass sie nicht nur fest aneinander halten, sondern auch solide metallische Berührung haben. Fig. 10 zeigt die gebräuchlichsten Verbindungen: *A* den Kropf-, *B* u. *C* den Bindedraht- und *D* den Klemmenbund. Die ersteren Methoden, deren Wesen aus den Abbildungen zur Genüge ersichtlich ist, verdienen jedenfalls den Vorzug, verlangen aber sehr sorgfältige Herstellung, solides Verlöthen oder Ueberziehen mit Blei- oder Guttaperchamuffen, um die Berührungsstellen vor Oxydation zu schützen.

Fig. 10.



Nach Ludwig beläuft sich bei einer gewöhnlichen eisernen Telegraphenleitung die jährliche Abnahme der Drahtdicke zufolge der Oxydation nahezu auf $^2/_{100}$ Mm. Man hat diesem Uebelstande durch Verzinken des Drahtes, d. h. durch Ueberziehen desselben mit einer Zinkschicht im flüssigen Zinkbade oder durch einen Ueberzug mit Oelfarben oder Theer abhelfen wollen, aber keinen besonders günstigen Erfolg erzielt; etwas besser bewährte sich Schwarzsieden des Drahtes in Oel oder Tränken desselben mit sehr heissem Leinöl.

Der in Amerika gebräuchliche Kupferstahldraht (compound telegraph wire) enthält als Seele einen ver-

zinnten Stahldraht vorzüglichster Qualität, über welchen zwei auf beiden Seiten verzinnte Kupferstreifen mittelst Zieheisen aufgepresst und durch die dabei entstehende Hitze gleichzeitig auch aufgelöthet werden. Das Gewicht eines solchen, von Farmer & Milliken in Boston erfundenen, von den Gebrüdern Siemens in London gefertigten Kupferstahldrahtes soll für gleiche Längen und Widerstände nur $^1/_3$ des gewöhnlichen eisernen Telegraphendrahtes betragen und dabei soll sich der Draht durch grosse Festigkeit und Dauerhaftigkeit auszeichnen.

Die oberirdischen Leitungen werden in der Regel über Stangen mit Isolirköpfen von Porzellan oder Steingut geführt, um welche der Draht geschlungen wird. Wo Leitungen durch Mauern gehen und an den Endstationen wird kein blanker Metalldraht, sondern mit Guttapercha, Kautschuk oder Gummi elasticum etc. überzogener Kupferdraht verwendet.

Unterirdische Leitungen bedürfen noch viel sorgfältigerer Isolirung und werden daher meist aus einem oder mehreren Kupferdrähten hergestellt, die vorerst eine gleichmässige Guttapercha- oder Kautschukumhüllung erhalten; letztere wird von kaltem Wasser, Weingeist oder schwachen Säuren, selbst von Salzsäure nicht und von Schwefelsäure nur wenig angegriffen. Man legt sie jetzt durchschnittlich 1 Meter tief in den Boden, und zum Schutz gegen Nagethiere und mechanische Einwirkungen wird der so isolirte Draht noch mit dicht aneinanderliegenden Eisen- oder Stahldrähten spiralförmig umwunden, so dass er das Ansehen und die Gestalt eines Drahtseiles (Kabel) erhält.

Eines der längsten unterirdischen Kabel wird jetzt zwischen Paris und Marseille, also quer durch ganz Frankreich gelegt und läuft am rechten Rhône-Ufer mit Benützung der öffentlichen Strassen. Die Röhren liegen $1^1/_2$ Mtr. tief im Boden, und in Abständen von je 500 Mtr. sind Kammern angebracht, die den Zugang zum Röhrenstrange vermitteln. Auf je 100 Meter kommt eine gusseiserne Kuppelung, welche eine Revision des Kabels gestattet. Nach Vollendung dieser Arbeit wird das Kabel mit demjenigen des Atlantischen Oceans und des Mittelländischen Meeres verbunden,

Die Kabel von Felten & Guilleaume in Köln, welche dermalen für das Deutsche Reich als Normalleitungen für Telegraphen eingeführt sind, bestehen aus 7 mit Guttapercha überzogenen und zu einer 5 Mm. dicken Litze zusammengedrehten Kupferdrähten von 0.6 Mm. Dicke. Die Litze ist wieder mit einem Band überzogen, welches mit einer Mischung von 3 Theilen Guttapercha, 1 Holztheer und 1 Harz getränkt worden ist, mit heissem Guttapercha umhüllt, wieder mit einem getränkten Band umwickelt und mit Guttapercha umgossen, schliesslich bis zu einer Gesammtdicke von 17 Mm. mit getheertem Hanf umsponnen. Zum äusseren Schutz werden die Kabel so dicht mit 4 Mm. starkem verzinkten Eisendraht umwickelt, dass auf je 250 Mm. eine Windung jedes der 16 Drähte kommt, und zuletzt ein guter Anstrich mit heissem Steinkohlentheer gegeben.

Uebrigens fertigen Felten & Guilleaume noch eine grosse Zahl von Kabeln anderer Dimensionen und Constructionen, wie aus dem nachfolgenden Preisverzeichniss der Firma hervorgeht.

Fabriksnummer	Isolirmethode	Construction: Zahl der Litzen	Zahl der Drähte per Litze	Drahtdicke Mm.	Leitungswiderstand per 1 Km. b. 15° C. in Ohms	Metallischer Querschnitt in Qu.-Mill.	Gewicht per Kilometer	Preis per 100 Mtr. Francs
1272	Bewickelung mit Gummiband, Gummi, Gummiband u. dann Umspinnung mit Jutegarn, schliesslich Asphaltüberzug	7	7	1·6	0·19	98·5	1367	481
1271	Bewickelung mit Gummiband, Gummi und nochmals mit Gummiband	1	19	1·6	0·5	38·2	418	216
1270		1	7	2·0	0·86	22·0	250	144
1269		1	7	1·6	1·35	14·0	164	107
1268		1	7	1·2	2·40	7·9	106	79·50
1041	Gummi und Band	1	3	0·8	12·6	1·5	43	36
1262	*A* Bewickelung mit Gummiband, dann umsponnen mit Jutegarn und paraffinirt	1	19	1	1·27	14·9	168·5	72
1261		1	19	0·8	2·00	9·5	113·0	54·5
1260		1	7	1·6	1·35	14·0	157·5	64·5
1259		1	7	1·2	2·40	7·9	96.0	42
1258		1	7	1·0	3·45	5·5	70·0	32
	B Ader-Dr.-Mm.							
1076	10·5	1	19	1·2	0·88	21·5	270	181
1075	9 Bewickelung mit Gummi und gummirtem Band .	1	19	1·0	1·27	14·9	190	136·5
1074	9	1	19	0·8	2·00	9·5	140	116
1073	10·0	1	7	1·2	2·40	7·9	120	100
1072	7·5	1	7	0·8	5·40	3·5	65·5	59·5

Digitized by Google

Fabriksnummer	Isolirmethode	Construction: Zahl der Litzen	Zahl der Drähte per Litze	Drahtdicke Mm.	Leitungswiderstand per 1 Km. b. 15° C. in Ohms	Metallischer Querschnitt in Qu.-Mill.	Gewicht per Kilometer	Preis per 100 Mtr. Francs
	C							
	Ader-Drehm.							
1232	10·5	mit Guttapercha	1	19	1·2	0·88	21·5	290	212
1231	10.5	und getheertem	1	7	2·0	0·86	22·0	295	214·5
1230	9.5	Band umwickelt	1	7	1·6	1·35	14·0	205	159
1229	7.5		1	7	1·6	1·35	14·0	175	106·5
1252	9.5		1	7	1·2	2·40	7·9	170	154
1228	7.5		1	7	1·2	2·40	7·9	122	94
	D							
714		Bleikabel, doppel. Bewickelung mit Baumwolle, einfache Umwickelung mit Gummiband und Bleimantel	1		1·3	2·04	9·3	330	69·5
1263		jede Litze mit getheertem Hanfgarn umsponnen	4	7	0·7	1·76	10·8	144	69·5
1264		mit Baumwollgarnseele . . .	6	4	0·7	2·06	9·2	94	44·5

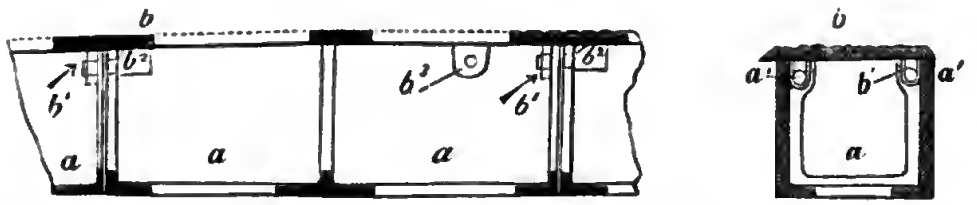
Von anderen Methoden erwähnen wir das Einlegen ganz nackter oder mit Kautschuk überzogener Drähte in gemauerte Gerinne, welche dann mit Cement oder Asphalt ausgegossen werden, so dass der Leitungsdraht ringsum von der betreffenden isolirenden und schützenden Masse umgeben ist. Aehnlich ist die zuerst auf der Pariser Elektricitäts-Ausstellung bekannt gewordene Construction von Brooks, bei welcher die

Kupferdrähte mit Steinöl, welches als Isolator dient, in eisernen Röhren eingeschlossen liegen, die an den Vereinigungspunkten in Heberform gekrümmt sind. Neuerlich hat Brooks dem Steinöl noch Paraffin zugesetzt, um den Isolator weniger dünnflüssig und mehr teigig zu machen. Es wäre in der That zu fürchten, dass die Drähte sich einmal zufällig berührten, wenn sie nicht durch eine etwas consistentere Masse an Ort und Stelle gehalten würden. Das Legen der eisernen Röhren und ihre Verbindung könnte nach der gegenwärtigen Praxis wohl auch Schwierigkeiten hervorrufen. Es ist fraglich, ob nicht das, was man hierbei durch Vereinfachung der Herstellung gewinnt, auf der anderen Seite durch Schwierigkeiten bei der Einrichtung und beim Unterhalt, sowie durch den Mangel einer guten Isolation wieder verloren wird. — Um bei den letzteren Systemen jeder Zeit ohne Schwierigkeit an jedem Punkte zu den Leitungen kommen zu können, hat man vorgeschlagen, statt der gemauerten Gerinne oder gusseisernen Röhren solche von gewalztem Quadrant- oder Segmenteisen anzuwenden. Zu demselben Zwecke hat William Reddal zu Finsbury in England bei Strassenleitungen an die Kante der Bürgersteige rinnenartige gusseiserne Kasten *a* (Fig. 11) gelegt, deren offene Stirnseiten zusammenstossen und die mit Deckeln *b* bedeckt werden. Diese Deckel *b* haben an einer Seite zwei mit je einem Loch versehene Ansätze b^1, an der anderen Seite zwei Haken b^2, welche in die Löcher von b^1, sowie die correspondirenden Löcher a^1 der Kasten-Stirnseiten hineingeschoben werden können und dann sowohl den Deckel als die Kästen in ihrer Lage festhalten. In

grösseren Entfernungen wird ein Deckel angewendet, der die Ansätze b^1 nicht hat, dagegen Ansätze b^3, welche durch einen Querstift mit dem Kasten gekuppelt werden.

Endlich haben Clement Labye und Leon de Locht Labye zu Paris in ähnlichen Behältern aufeinanderfolgende Lagen von Drähten in isolirendes Material, wie Asphalt etc., gebettet. Das System ist wohl in der Anlage etwas kostspielig, bietet aber den Vortheil, dass die Vergrösserung der Leitung, d. h. das Einbetten mehrerer Drähte und Drahtlagen fast kostenlos erfolgen kann. Die Erfinder geben den Kästen bei

Fig. 11.



500—1500 Mm. Länge, 120 Mm. Weite und 90 Mm. Höhe im Lichten, eine Wandstärke von 5 Mm. und den Deckeln von 8 Mm. Natürlich ist auch kein Hinderniss vorhanden, den Querschnitt der Kästen rund oder von beliebiger anderer Form zu machen, die Kästen selbst gerade, gebogen oder in beliebigem durch die Richtung der Leitung vorgeschriebenen Winkel geknickt, dann mit T- oder Kreuzstutzen zur Abzweigung eines Theiles der Leitung herzustellen.

Ed. Berthoud und François Borel (Cortaillod in der Schweiz) zeigten auf der Pariser Ausstellung eine Maschine zur Anfertigung von Kabeln in vollem Betriebe. Statt der Guttapercha nehmen dieselben Baumwolle und Paraffin oder Colophonium.

Die Baumwolle enthält immer Feuchtigkeit, und die Feuchtigkeit leitet die Elektricität; die Baumwolle in ihrem gewöhnlichen Zustand wäre also ein schlechter Isolator. Man muss sie deswegen austrocknen und auch später vor der Einwirkung der Luft bewahren. Zu diesem Behufe wird der zuvor auf mechanischem Weg mit Baumwolle überzogene Kupferdraht in ein Bad von geschmolzenem Paraffin getaucht, welches auf einer Temperatur von mehr als 100° erhalten wird. Die Baumwolle, so von ihrem Gehalt an Wasser befreit, würde letzteres schnell wieder aufnehmen; um dies nun zu verhindern, umgiebt man sie sogleich in hoher Temperatur mit einer schützenden, undurchdringlichen Hülse. Diese Hülse ist Blei, welches man ja leicht in die Form einer Röhre bringen kann. Die paraffinirte Baumwolle wird schnell in das Blei eingeschlossen.

Kurz ausgedrückt ist also das neue Kabel ein Kupferdraht, umgeben von mit Paraffin getränkter Baumwolle, und das Ganze hermetisch mit vollständiger Berührung und unter Druck in Blei eingeschlossen. Paraffinirte Baumwolle, vor Feuchtigkeit geschützt, ist ein ausgezeichneter Isolator; im grossen Massstab ausgeführte Versuche haben gezeigt, dass dieser Isolator die Guttapercha und das Kautschuk ersetzen könnte. So viel von dem Kabel, nun die Fabrikation.

Bei früheren Verfahrungsweisen schützte man allerdings die Guttapercha auch schon durch Blei; aber wenn das Kabel fertig war, musste man noch eine ergänzende Operation zu Hülfe nehmen: das Legen in Blei. Man versenkte die Kabel in Bleiröhren von einem hinreichend grossen Durchmesser, dass sie hin-

eingingen, ohne dieselben zu berühren. Man konnte keine längeren Stücke als von 50 bis 80 Meter anfertigen, die man alsdann zusammenlöthen musste. Es war dies eine lange, mühsame und kostspielige Arbeit. Manchmal führte auch das Legen in Blei ein Zerreissen der Guttapercha und Stromverluste herbei, welche lange Zeit unentdeckt bleiben konnten. Durchaus verschieden davon ist die Methode von Berthoud und Borel. Draht, Isolator und Blei werden bei der Fabrikation auf einander gelegt und innig verbunden und bilden so ein untrennbares Ganzes. Betrachten wir nun die Maschine der Ausstellung.

Sie ist robust und massiv construirt und füllt einen Raum zwischen vier Säulen aus, welcher mit einer kreisförmigen Plattform überdeckt ist, auf die man mit Hülfe einer Treppe gelangt. Auf der Plattform bemerkt man einen kleinen Kessel, umgeben von einem Kranze von Gasflammen mit bläulichem Lichte. In den Kessel, welcher voll geschmolzenen Paraffins ist, führt man den schon zuvor mit einem Geflecht von paraffinirter Baumwolle überzogenen Kupferdraht ein.

Ein weiter, sehr starker verticaler Hohlcylinder aus Stahl geht durch die Plattform. In diesen cylindrischen Behälter wird der Bleizain gebracht, mit welchem das Kabel überzogen werden soll. Ein Kolben aus Stahl kann von unten nach oben in die Höhlung dieses oberen Behälters treten, indem er von Wasser unter einem gewissen Drucke gehoben wird, wie bei der hydraulischen Presse. Dieser sehr dicke Kolben ist von einem Ende zum andern durchbohrt wie ein Flintenlauf.

Endlich geht eine kegelförmig auslaufende Röhre aus Stahl von oben in den cylindrischen Behälter bis zur oberen Fläche des Kolbens; sie reicht noch ein wenig in die innere Höhlung des Kolbens, so dass zwischen den inneren Wänden dieser Höhlung und dem kegelförmigen Theil der Röhre nur ein schmaler ringförmiger Zwischenraum bleibt; in dieser Stellung bleibt die stählerne Röhre, während natürlich der Kolben auf- und abgeht. — Der Kupferdraht und die geschmolzene isolirende Masse aus dem Kessel dringen miteinander in die innere Stahlröhre; der Draht wird hierbei mit Paraffin überzogen, wie ein Kerzendocht mit Stearin umgeben wird: Draht und Isolator kommen an dem kegelförmigen Theil der Röhre heraus. — Wenn der Kolben steigt, so übt er einen Druck auf das in dem cylindrischen Behälter vorhandene Blei aus, das Metall muss sich ausstrecken und an der ringförmigen, zwischen der centralen Röhre und den inneren Wänden des Kolbens befindlichen Oeffnung heraustreten; so umgiebt das Blei den Draht und seinen Isolator überall und schliesst sie in eine metallische Hülse. — In dem Maasse als der Kolben fortfährt zu steigen, fliesst auch das Blei ab, indem es die bereits gebildete Hülse an sich hinunterschiebt, welche ihrerseits den Draht in die abwärtsgehende Bewegung hineinzieht. Das aus dem Innern des Kolbens kommende Kabel tritt mit Blei bekleidet durch eine Seitenöffnung heraus und wickelt sich von selbst auf eine zu seiner Aufnahme bestimmte Spule.

Die Dicke des Bleiüberzuges lässt sich nach Belieben ändern, sie hängt einzig und allein von der

Weite des ringförmigen Raumes ab, welcher zwischen dem centralen Dorne und den Wänden des Kolbens ausgespart ist. Man kann also den Draht und seinen Isolator mit so dicken und so dünnen Metallhülsen umgeben als man will.

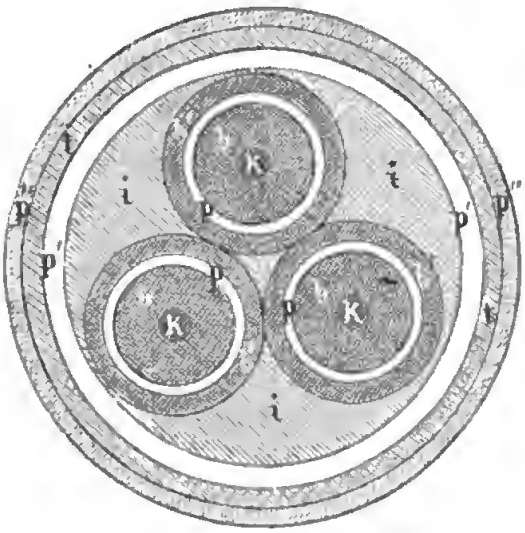
Wie man sieht, ist die Einrichtung dieser Bleipresse von Berthoud und Borel ganz einfach. Es ist das Princip der Pressen zur Fabrikation von Röhren aus Steinzeug oder aus Blei, ebenso zur Verfertigung der Maccaroninudeln. Bloss ist hier der centrale Dorn, welcher sonst massiv ist, hohl, um den Draht, welcher umwickelt werden soll, durchzulassen.

Ein Mann genügt schliesslich, um den Kessel mit Draht und Paraffin zu versorgen, um den cylindrischen Behälter mit Blei zu füllen und die Arbeit zu überwachen, und weiter braucht es nichts bei der Maschine von Berthoud und Borel, um einen Kupferdraht in ein ausgezeichnetes Kabel zu verwandeln und fortwährend grosse Längen von elektrischen Leitern zu liefern. Man kann mit Recht sagen, dass die neuen Kabel eine vollständige Maschinenarbeit sind. Die Maschine verfertigt leicht ihre 25 Meter Kabel in der Minute. Die Gesellschaft, welche das System von Borel und Berthoud ausbeutet, hat eine bedeutende Fabrik in Grenelle-Paris errichtet und eine andere in Cortaillod bei Neuenburg in der Schweiz.

Wenn die Kabel unter den Boden gelegt werden sollen, so lässt man sie zum zweiten Male in die Presse gehen, um sie mit einer neuen Umhüllung von Blei zu versehen. Zwischen die beiden Hülsen bringt man eine undurchdringliche Masse, wie das Pech, welches den

Rückstand von der Destillation des Steinkohlentheers bildet. Mit diesem dreifachen Schutze trotzen die neuen Kabel allen Unbilden und Einflüssen der Witterung. Man kann wohlgemerkt mehrere Drähte, welche mit einer dünnen Bleischicht umgeben sind, in eine isolirende Masse bringen, welche man dann wieder mit Blei umhüllt; so erhält man Kabel bis zu 14 und mehr Drähten, welche vollständig isolirt sind.

Fig. 12.



Beistehende Fig. 12 zeigt ein solches Kabel mit 3 Drähten *k*, welche durch imprägnirte Baumwolle *b* isolirt sind; *p* ist das Bleirohr, welches wieder mit einer Lage imprägnirter Baumwolle *b'* isolirt ist. Das Ganze liegt in einer Isolirmasse *i* und in zwei von einander durch Theer oder Pech *t* getrennten Bleiröhren *p'* und *p''*. Man kann nun durch den kupfernen Transmissionsleiter *k* einen positiven und gleichzeitig durch den Hilfsleiter *p* (Bleirohr) einen negativen Strom schicken, deren Inductionswirkungen sich bei gleichen Widerständen beider Leiter aufheben.

Man erspart auf diese Weise den bei anderen Kabeln zur Vermeidung der Induction der Drähte unter sich nothwendigen zurückgehenden Draht, indem der Strom durch den Draht *k* fort und durch das Bleirohr zurückgeht. Letzteres ist zwar ein viel weniger

guter Leiter, als das Kupfer, aber da der Querschnitt der Röhre verhältnissmässig gross ist, so gewinnt man durch den Durchmesser, was man an Leitungsvermögen verliert. Man findet hierin wohlgemerkt einen grossen ökonomischen Vortheil. Die neuen Kabel, welche mit Maschinen sehr schnell, ohne kostspielige Löhne fabricirt und mit einem sehr wohlfeilen Isolator versehen sind, kommen natürlich überhaupt bei weitem nicht so hoch zu stehen, als die bisher üblichen.

In der Ausstellung benützte sie die Jablochkoff'sche Gesellschaft, um den Strom zu den elektrischen Kerzen von verschiedenen in Gang befindlichen Maschinen zu leiten. 15.000 Meter Kabel von Berthoud und Borel brachten Kraft und Licht in die verschiedenen Theile des Palastes; 5000 Meter sind kürzlich wieder von der nämlichen Gesellschaft gelegt worden zur Beleuchtung der Opera nach dem Jablochkoff'schen System. Ein Kabel mit mehreren Leitern, welches durch die Abzugskanäle von Paris gelegt war, verband das Telegraphenamt mit der Ausstellung. Einige Kilometer waren auch für telephonische Leitungen in diesen Kanälen gelegt.

Ein neuerdings der Firma Siemens & Halske in Berlin patentirtes Verfahren zur Herstellung isolirter Leitungen besteht darin, dass die mit Jute, Baumwolle, Flachs, Hanf oder dergl. umsponnenen Drähte in ein Gefäss, in welchem sich concentrirte Schwefelsäure oder sonst ein hygroskopischer Körper befindet, gebracht werden, und dann dieses Gefäss evacuirt wird, damit das in den Gespinnstfasern enthaltene Wasser aus denselben entfernt wird. Hierauf lässt man mittelst der

Luftleere des Gefässes Kautschuköl oder eine Mischung desselben mit Harzen oder ähnlichen Körpern einsaugen, womit die Poren des Gespinnstes ausgefüllt werden, bevor sie wieder mit feuchter Luft in Berührung gekommen sind.

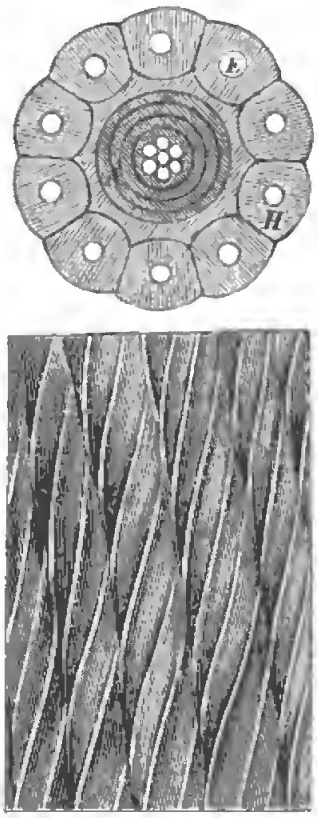
Ferner stellt noch Arthur Thaddeus Woodward in New-York folgendes Isolirmaterial her: 66 Gewichtstheile feines Glas- oder Quarzpulver und 34 Gewichtstheile vegetabilisches oder mineralisches Harz, ebenfalls fein zerrieben, werden vermischt. Dem Gemisch werden 26 Gewichtstheile Paraffin, Bienenwachs oder Walrath und 3 Gewichtstheile gekochtes oder rohes Leinöl zugesetzt. Das Mischungsverhältniss ist je nach den Umständen ein verschiedenes. Wird die Masse der Sonne ausgesetzt, so muss die Wachsbeimischung eine geringe sein, während bei Verwendung der Isolirungsmasse zu unterirdischen Telegraphenlinien das Entgegengesetzte eintreten muss.

Submarine elektrische Leitungen bedürfen entsprechend ihrer grösseren Abnützung und Inanspruchnahme einer weit sorgfältigeren und haltbareren Construction. Sie hängen oft auf weite Entfernungen frei ohne Stützpunkt oder werden durch Stürme auf dem steinigen Meeresboden hin- und hergeworfen. Heute sind die Verfahrungsweisen zum Legen und Heben der unterseeischen Kabel sehr vervollkommnet; es ist jetzt gewissermassen leicht geworden, Kabel in 4000 Mtr. Tiefe zu suchen, zu durchschneiden, zu heben und auszubessern. Die Fabrikation der Kabel hat einen grossen Einfluss auf die Fortschritte der Elektricität ausgeübt; man musste Messungs-, Untersuchungs-, Transmissions-

Methoden schaffen, welche hinwieder glückliche Entdeckungen und fruchtbare Anwendungen auf die Beine brachten. Anfänglich aber machte die Sache grosse Schwierigkeiten. Das erste Kabel wurde am 28. August 1850 zwischen Calais und Dover ins Meer gesenkt; wenige Tage nachher zerriss es an den Felsen der Küste. Am 26. September 1851 wurde es endgiltig wieder hergestellt. Nach langen Sondirungen, welche ergaben, dass das Bett des Atlantischen Oceans von einer ungeheueren Ebene in der Tiefe von 3500 Mtr. gebildet und auf Seite der beiden Continente von zwei steilen Abhängen begrenzt wird, entschied man sich dafür, die Legung eines Kabels zwischen Europa und Amerika zu versuchen. Der erste Versuch, welcher bis zum 5. August 1857 zurückgeht, misslang; das Kabel zerriss während des Legens. Man nahm die Sache mit Erfolg wieder auf im Monate Juli 1858. Ohne Zweifel erinnert man sich noch an den Enthusiasmus, mit welchem die ersten über den Ocean gelangten Depeschen aufgenommen wurden. Die Königin Victoria wechselte einige beglückwünschende Worte mit dem Präsidenten Buchanan. In Amerika fanden einige Tage lang Feste über Feste, Processionen und Feuerwerke statt. In New-York war das Vergnügen grenzenlos, man beleuchtete so gründlich, dass zuletzt das Stadthaus Feuer fing; das Dach und die Kuppel desselben wurden vollständig zerstört. Jedoch die allgemeine Freude war nicht von langer Dauer. Kaum war ein Monat verflossen, so gelangten die Depeschen nicht mehr an ihren Bestimmungsort. Vergeblich suchte man nach der Ursache der Unterbrechung. Die

Elektriker machten sich an die Arbeit, und erst sieben Jahre später, 1865, entschied sich die von dem amerikanischen Ingenieur Cyrus Field gegründete Gesellschaft, ohne sich durch die beträchtlichen Verluste, welche sie bereits erlitten hatte, abschrecken zu lassen, dafür, einen dritten Versuch zu machen. Es war der Great Eastern, welcher das Kabel an Bord nahm. Nach einem glücklichen Anfange zerriss das Kabel, und die Expedition musste noch einmal den Weg nach England zurücklegen. Man hatte zwei Drittel des Kabels gelegt. Im folgenden Jahre am 15. Juli segelte der Great Eastern, mit einem neuen Kabel beladen, von Valentia ab. Am 28. Juli Abends zur voraus angekündigten Stunde und ohne Unfall landete man das Kabel in Heart's Content an der Küste der neuen Welt. Am 12. August gelangte der Great Eastern an die Unglücksstelle des vorigen Jahres und nach zwanzig Tagen fruchtlosen Dreggens*) wurde das zerrissene Kabel wieder an Bord gebracht; man löthete es mit einem neuen Stücke zusammen, welches nun seinerseits bis zur neuen Welt gelegt wurde, und so hatte man eine neue Verbindung mit Irland gewonnen. Seit diesem Zeitraum haben die Kabelleitungen über das Meer keine Unterbrechung

Fig 13.

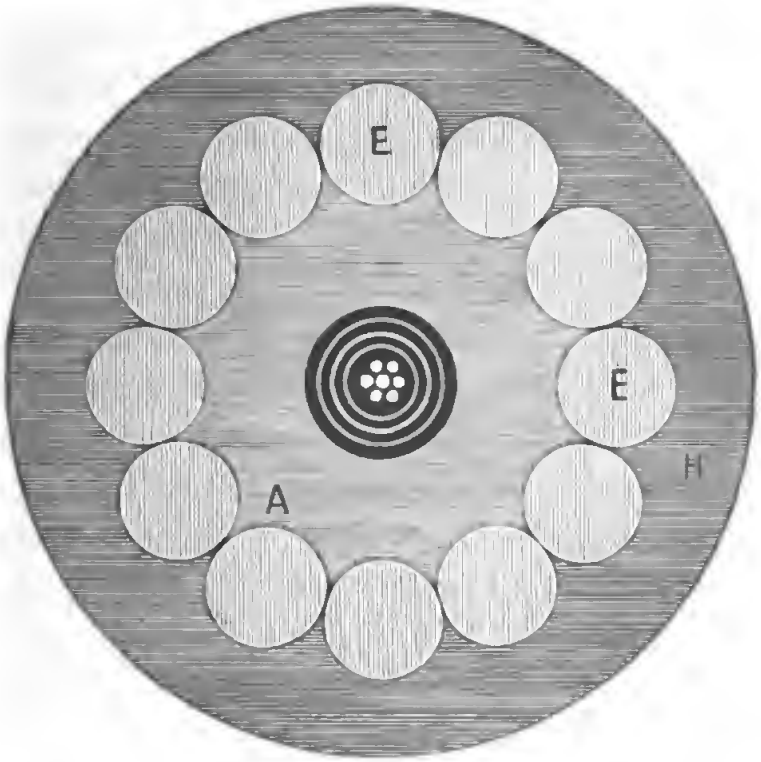


*) Den sogenannten Dregghaken zum Auffinden eines Kabel u. dgl. auf dem Boden des Meeres hin- und herschleppen.

mehr erlitten, die transatlantische Telegraphie war für immer geschaffen.

Fig. 13 giebt Querschnitt und Ansicht eines Stückes vom letzten transatlantischen Kabel, wie es im freien Meere liegt; es sind dabei die schützenden Drähte *E* noch mit Jutegarn umsponnen, welches in Catechulösung

Fig. 14.



getränkt ist. In der Mitte befindet sich der eigentliche Leiter aus 7 unter sich isolirten Kupferdrähten bestehend; dieselben sind mit 4 Lagen Gummi *A* umgeben. Die Isolirung der Kupferdrähte ist mittelst eines Ueberzuges von Chaterton's Mischung, d. i. einem Gemenge von 3 Theilen Guttapercha, 1 Theil Harz und 1 Theil Holzkohlentheer, bewirkt worden. Ebenso erhält jede Guttaperchalage einen solchen Ueberzug, bevor die nächste

Lage darüber kommt, zu dem Zwecke, die Verbindung der Guttaperchalagen um so dichter und undurchlässiger zu machen. Per eine Seemeile wiegt die siebenfache Kupferader 150 Kg., die Umhüllung 1500 Kg., so dass das Gesammtgewicht den verhältnissmässig geringen Betrag von 1650 Kg. per Seemeile nicht übersteigt. Im Wasser reducirt sich das Gewicht auf ca. 728·5 Kg. Die absolute Festigkeit des Kabels ist elfmal so gross, als das Gewicht desselben per Seemeile im Wasser. Fig. 14 zeigt den Querschnitt eines Stückes am Ende des genannten Kabels, des Strand- oder Küstenkabels, welches noch in höherem Masse in Anspruch genommen wird als das Kabel im freien Meere und daher auch ganz besonders sorgfältig geschützt sein muss. Die Skizze repräsentirt die natürliche Grösse des Kabels. In der Mitte befinden sich wieder die 7 Kupferdrähte in Guttapercha-Umhüllung. *E* ist mit Manilahanf umsponnener, sorgfältig verzinkter Eisendraht, *H* ist wieder mit Catechulösung gegerbtes Jutegarn und *A* eine Isolirmasse aus Asphalt.

VII.

Die Fortleitung und Theilung des elektrischen Stromes.

Aus den Capiteln III bis V wird der Leser wohl ersehen haben, dass der elektrischen Kraftübertragung auf grosse Entfernungen keine unüberwind-

lichen Schwierigkeiten im Wege stehen, und dass schon bei Anwendung der bisher bekannten Hilfsmittel der Nutzen dieser Kraftübertragung ein bedeutender sein wird. Um jedoch grosse Kräfte auf diese Weise in der Praxis wirklich nutzbar machen zu können, wird es nicht nur nothwendig sein, einen möglichst grossen Theil derselben nach einem entfernten Ort zu übermitteln, sondern man wird solche Einrichtungen treffen müssen, dass man beliebige Quantitäten der Gesammtkraft nach beliebigen verschiedenen Orten übertragen kann, d. h. es wird sich darum handeln, eine Theilung der vermittelst des elektrischen Stromes übertragenen Kräfte zu erzielen.

Wenn man z. B. eine Anzahl von verschiedenen Apparaten durch den elektrischen Strom der Primärmaschinen in Bewegung setzen will, so muss man einem jeden dieser Apparate genau die zu seinem Betriebe nothwendige Kraft zuführen können. Damit dann die verschiedenen Apparate zu verschiedenen Zeiten oder gleichzeitig arbeiten können und nichtsdestoweniger von einander ganz unabhängig bleiben, wird es auch nothwendig sein, die Stromtheilung so einzurichten, dass das Ausschalten oder Einschalten des einen Apparates in den Stromkreis keinen Einfluss auf die Leistungen der anderen Apparate hat.

Durch das Aus- und Einschalten von verschiedenen Apparaten wird sich aber die gesammte Quantität der zu übertragenden Energie ändern; es handelt sich folglich vor Allem darum, diese gesammte Quantität, welche mit IE bezeichnet werden kann, entsprechend zu reguliren.

Um dieses zu erreichen, kann man entweder

1. I und E gleichzeitig ändern, oder
2. I constant lassen und E verändern, oder
3. E constant lassen und I verändern.

Die gleichzeitige Aenderung von E und I wird in der Praxis ihrer Complicirtheit halber kaum angewendet werden. Im zweiten Falle wird man alle Apparate in denselben Stromkreis einzuschalten haben, d. h. man wird Arrangements in Serien vornehmen müssen.

Im dritten Falle wird jeder Apparat sich in einem Extrastromkreise zu befinden haben, d. h. die Apparate werden in Derivationen einzuschalten sein.

Um sich ein klares Bild von diesen beiden Methoden zu machen, denke man sich eine Einrichtung für die Ausnützung hydraulischer Kräfte. Wünscht man z. B. mehrere Turbinen durch einen einzigen Wasserfall zu betreiben, so kann man dieselben, angenommen, dass die Fallhöhe genügend ist, eine über der andern anbringen.

In diesem Falle wird eine jede Turbine die ganze Wassermasse erhalten, jedoch wird die Höhe, von der das Wasser auf die Turbine herniederstürzt, bei den verschiedenen Turbinen eine verschiedene sein, und wünscht man nun noch eine Turbine einzuschalten, so wird man die Fallhöhe steigern müssen.

Hat man jedoch alle Turbinen nebeneinander angebracht, so wird eine jede nur einen Theil der Wassermasse erhalten, jedoch wird die Höhe, von der das Wasser herniederfällt, für alle derselben eine gleiche sein, und wenn man noch eine Turbine einschalten will, so wird man die Wassermasse zu theilen haben, während die Fallhöhe unverändert bleiben wird.

Der erste Fall entspricht bei der elektrischen Krafterzeugung denjenigen Einrichtungen, bei welchen I constant bleibt, während der zweite Fall das Constantbleiben von E veranschaulicht

Wenn also I für die verschiedenen, vermittelst Elektricität betriebenen Apparate constant bleiben soll, so muss man E durch einen Regulator reguliren, und soll E constant bleiben, so muss man I entsprechend reguliren.

Auf den ersten Blick sieht es so aus, als ob eine Regulation von I nicht nothwendig sei, da die Aenderungen im Widerstande des Stromkreises, welche durch die Einschaltung oder Ausschaltung der Apparate hervorgerufen werden, I selbst entsprechend modificiren; denn wenn bei einer gegebenen Stromstärke nur ein Apparat im Betriebe war, so würde dem Anscheine nach, wenn man einen zweiten gleichen Apparat so einschaltet, dass ein gleich langer Leitungsdraht nach ihm abzweigt, der Gesammtwiderstand halbirt werden, da der Strom nun zwei Canäle zu gleicher Zeit durchströmen kann; auf der anderen Seite würde aber auch die Stromstärke sofort verdoppelt werden, da nun eine neue, der ersten gleiche Quantität des Stromes in den gesammten Stromkreis fliessen kann; die Einschaltung des zweiten Apparates selbst würde also automatisch den für diesen Apparat nöthigen Strom hervorgerufen haben.

Diese Anschauung beruht jedoch auf einem grossen Irrthume; denn bei den obigen Folgerungen ist der Umstand vergessen, dass jeder elektrische Motor einen gewissen inneren Widerstand hat, ohne

welchen die Erzeugung eines Stromes unmöglich sein würde, es wird also bei Einschalten des zweiten Apparates die Formel $I = \frac{E}{R}$ sich nicht in $I_1 = \frac{E}{\frac{R}{2}}$ verwandeln, d. h. I wird nicht $= 2\,I$ werden, sondern man muss den Widerstand des Motors selbst in Rechnung bringen, d. h. $I = \frac{E}{r + \frac{R}{2}}$.

Aus dieser Gleichung lässt sich sofort erkennen, dass im zweiten Falle die Stromstärke nicht das Doppelte der ersten ist, und wenn man im Stromkreise n Derivationen anbringt, so verändert man allerdings den Widerstand des äusseren Stromkreises auf $\frac{R}{r_1}$, der innere Widerstand der Maschine bleibt jedoch unverändert, d. h. die Stromstärke verändert sich nicht genau proportional dem Bedürfnisse.

Man nehme z. B. an, dass die constant bleibende elektromotorische Kraft $E = 100$, der innere Widerstand des Motors $r = 2$ und der äussere Widerstand, d. h. die Leitung sammt dem einen zu betreibenden Apparate $= 20$ sei, dann erhält man für die Stromstärke I die Gleichung $100 = \frac{I}{2 + 20}$; schaltet man nun einen zweiten Apparat, welcher nebst seiner Derivation der Leitung ebenfalls einen Widerstand $= 20$ hat und gerade so construirt ist wie der erste, ein, so müsste — um die zu seinem Betriebe nothwendige Stromstärke zu erhalten — die Stromstärke genau verdoppelt werden. dieses geschieht aber durch

die blosse Einschaltung des Apparates und der Derivation von einem Gesammtwiderstand $= 20$ nicht, denn die Stromstärke I ist in diesem Falle aus der Gleichung $100 = \frac{I}{2 + 20 + 20}$ abzuleiten, d. h. sie ist $= 4200$, während sie im ersten Falle $= 2200$ war und, um genügend für den Betrieb des zweiten Apparates zu sein, $= 4400$ sein müsste.

Man sieht also, dass man, um die nöthige Stromstärke zu erzielen, eine weitere Regulation von I vorzunehmen haben wird.

Wenn r verschwindend klein ist, ist diese Regulation wohl nicht so nothwendig, und das Stromtheilungs-System des russischen Physikers Gravier, welcher Maschinen von sehr geringem inneren Widerstande anwendet und diesen Widerstand noch dadurch vermindert, dass er mehrere stromerzeugende Motoren auf Quantität koppelt, wird sich wohl in Fällen, in denen man Ströme von sehr geringer Spannung anwendet, als ganz praktisch bewähren; für die Uebertragung von grossen Kräften auf weite Entfernungen jedoch kann man nicht Maschinen von verschwindend kleinem inneren Widerstande benützen, sondern für die Ströme von hoher Spannung, die zur Kraftübertragung nothwendig sind, wird man Maschinen von verhältnissmässig grossem Widerstande anwenden müssen. Der Werth von r wird also in diesem Falle eine sehr bedeutende Rolle spielen, und eine Regulirung von I ist folglich absolut nothwendig.

Es fragt sich nun, welches Regulirungs- und Stromtheilungs-System wird sich in der Praxis am besten bewähren?

Digitized by Google

Um diese Frage zu beantworten, bedenke man, dass ein solches System drei Hauptanforderungen entsprechen muss.

1. Alle Apparate müssen genau den für sie bestimmten Theil der Kraft erhalten und unabhängig von einander gebraucht werden können.

2. Die zu diesem Zwecke nothwendige Regulation muss auf automatischem Wege und genau in dem richtigen Augenblicke erfolgen, ohne dass es eines Aufsehers oder besonderer Hilfsmittel bedarf.

3. Die Regulation muss zugleich eine solche sein, dass durch die stromerzeugende Maschine, resp. Maschinen, nur diejenige Gesammtquantität von Energie geliefert wird, welche zum Betriebe der jedesmal arbeitenden Apparate nothwendig ist.

Um diese drei Anforderungen zu erfüllen, wird es stets vorzuziehen sein, die verschiedenen Apparate in Nebenschaltungen einzuschliessen und dieselben nicht in Serien mit einander zu verbinden, da diese letzte Schaltung die Apparate sehr abhängig von einander macht und da im ersten Falle auch die Regulirung leichter ist.

Gerade während der letzten beiden Jahre hat man auf verschiedene Weise versucht, eine praktische Stromtheilung zu erzielen, doch fast alle zu diesem Zwecke angewendeten Systeme vernachlässigen mehr oder weniger die eine oder die andere der obigen drei Anforderungen.

In den meisten Systemen wendet man den Strom selber, wenn er zu schwach oder zu stark wird, dazu an, die elektromotorische Kraft der Maschine ent-

sprechend zu reguliren, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist.

Zu diesem Zwecke erhalten die Elektromagnete der stromerzeugenden Maschinen ihren Strom gewöhnlich von einer kleinen Extramaschine, da auf diese Weise das magnetische Feld unabhängig gemacht wird von dem Stromkreise.

Da nun die elektromotorische Kraft von der Intensität des magnetischen Feldes abhängt und diese wiederum von dem Strome der Extramaschine, so braucht man nur diesen letzteren variiren zu lassen, um die gewünschte elektromotorische Kraft zu erzielen.

Diese Variationen nun lassen sich leicht erreichen, wenn man in den Stromkreis Widerstände einschaltet und zu diesem Zwecke den Hauptstrom benützt. Wird der Hauptstrom zu stark, so schaltet er durch seine Einwirkung auf einen Elektromagnet einen Widerstand ein, der genau dem Ueberschusse an Stromstärke entspricht; wird der Hauptstrom zu schwach, so umgeht er einen oder mehrere der eingeschalteten Widerstände.

Auf diese Weise wird jedesmal die Intensität des Stromes der Extramaschine verändert, welche dann durch ihre Verbindung mit den Elektromagneten der Hauptmaschine eine entsprechende Aenderung der elektromotorischen Kraft dieser letzteren veranlasst.

Das im Jahre 1880 patentirte Stromtheilungs- und Regulations-System von Hospitalier beruht auf dieser Methode, und ebenso ist in dem System von Hiram Maxim, welches auf der elektrischen Ausstellung zu Paris 1881 allgemeine Anerkennung fand und sich in seiner Anwendung auf Glühlampen vor-

züglich bewährte, ein ganz ähnliches Verfahren beobachtet worden. Auch die Construction von Lane Fox und anderen minder bekannt gewordenen Elektrikern gehören hierher; allen diesen Systemen haftet jedoch der in der Methode selbst liegende Fehler an, dass durch die Anwendung von Widerständen, welche durch die Action eines Elektromagnets ein- und ausgeschaltet werden, die Regulation nicht momentan erfolgt, und die durch dieses Factum veranlassten üblen Folgen sind sehr bedeutend.

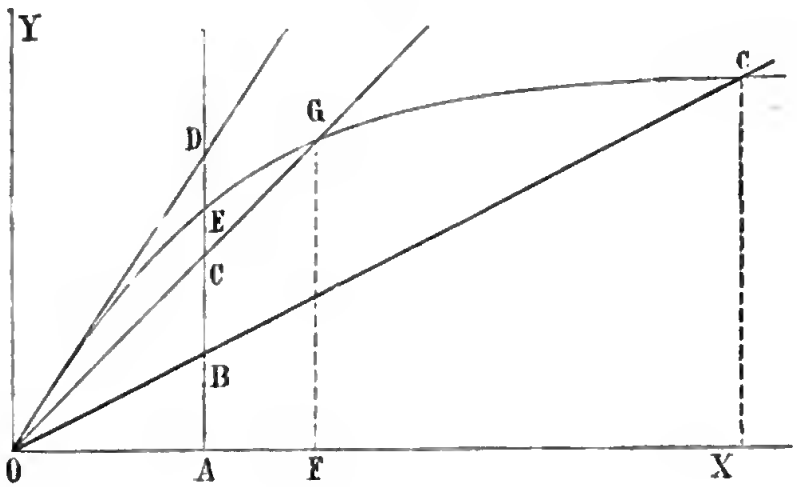
Ein wirklich vorzügliches Stromtheilungs- und Regulations-System wird von Marcel Deprez angewendet, dessen Verdienste um die elektrische Kraftübertragung wir bereits mehrfach erwähnt haben.

Die Deprez'schen Theorien, die sich seit den letzten Monaten in der Praxis sehr gut bewährt haben, sind so oft missverstanden und dadurch in Fachjournalen so entstellt worden, dass eine ausführliche Auseinandersetzung derselben an dieser Stelle wohl kaum einer Entschuldigung bedarf, und folgen wir den Erklärungen, welche Deprez selber von seiner Theorie letztes Jahr (Lumière Electrique 1881. Nr. 71) gab.

Man unterbrecne in einer dynamoelektrischen Maschine die Verbindung zwischen dem Strome, welcher die Magnete inducirt, und dem Strome, welcher in der Armatur erzeugt wird; dann sende man durch die Spiralen der Elektromagnete einen Strom von bekannter Stärke, der z. B. von einer Extramaschine erzeugt wird, lasse ferner die Armatur mit einer gegebenen Rotations-Geschwindigkeit rotiren und messe

die elektromotorische Kraft des Stromes der Armatur, indem man die Stromstärke der Extramaschine variiren lässt. Alsdann wird man für jeden Werth von E einen correspondirenden Werth von I erhalten. Bezeichnet man nun in einer graphischen Darstellung I durch die Abscisse und E durch die Ordinate, so erhält man aus den verschiedenen Werthen dieser beiden Grössen die Curve, welche in Figur 15 dargestellt ist.

Fig. 15.



Diese Curve hängt ganz und gar von der Construction der Maschine ab, und wird von Deprez die charakteristische Curve genannt.

Man stellt nun wieder die Verbindung zwischen den Elektromagneten und der Armatur her, lässt die Maschine mit derselben Geschwindigkeit wie zuvor rotiren und misst die Stromstärke. Diese Stromstärke welche $= I$ sei, ist es, welche die Elektromagnete erregt, da die Maschine nun selbsterregend ist.

Wenn man alsdann, in Figur 15, die Abscisse OF misst, die der Stromstärke I entspricht, so wissen

wir, dass bei der Geschwindigkeit V und bei der auf diese Weise erzeugten Intensität des magnetischen Feldes die elektromotorische Kraft $= FG$ ist; es ist also dieses die elektromotorische Kraft, welche bei der Bewegung der Maschine auftreten wird.

Der Widerstand lässt sich alsdann aus der Ohm'schen Formel $I = \frac{E}{R}$ leicht berechnen, nämlich

$$R = \frac{E}{I} = \frac{GF}{OF} = \text{tang } GOF.$$

Wir haben demnach hier den Gesammtwiderstand in der Form der Tangente eines Winkels ausgedrückt.

Wünscht man den Zahlenwerth zu finden, so braucht man nur auf der Linie OX irgend eine Abscisse OA abzutragen und in A eine Senkrechte zu errichten, auf der man wiederum von A eine Linie gleich OA abträgt. Diese Linie wird 1 Ohm repräsentiren, da $\frac{E}{I} = 1$ Ohm ist, welches der Tangente von $45^0 = 1$ entspricht. Man kann auf diese Weise die Senkrechte AD nach Ohms und Decimaltheilen von Ohms graduiren. Wenn man für irgend einen Punkt der charakteristischen Curve, z. B. C, den Widerstand zu finden wünscht, so braucht man nur die Länge desjenigen Stückes der Linie AD abzulesen, welches sich zwischen der Linie OC und OX befindet, in unserem Falle also AB. Diese Länge giebt den Widerstand in Ohms an.

Aus der graphischen Darstellung in Figur 15, welche die Curve für eine gewöhnliche Gramme'sche Maschine, die mit normaler Geschwindigkeit rotirt.

darstellt, zieht Deprez die folgenden interessanten Schlüsse.

Wenn man von einem gewissen Widerstand ausgeht und denselben mehr und mehr vermindert, so senkt sich die Linie OG immer mehr und mehr in der Richtung von OC. Man sieht also, dass die elektromotorische Kraft im Anfang schnell steigt, später langsamer wächst und endlich constant wird; da die Curve die Tendenz hat, eine Parallele zur Linie OX zu werden. Dieses bedeutet, dass der Magnetismus des weichen Eisens der Magnete nicht in's Unendliche wächst, sondern mit der Zeit sich einem Sättigungspunkte nähert, den man in der Praxis nicht erreicht.

Verlängert man hingegen in den graphischen Darstellungen die Linienabschnitte, welche die Widerstände repräsentiren, so hat die Linie OG die Tendenz, sich in der Richtung von OY zu drehen, sie wird also die Curve immer näher und näher ihrem Anfange durchschneiden und in der Stellung OD eine Tangente werden. In diesem Momente wird die Maschine stromlos sein.

Dieses zeigt deutlich, dass es für die Maschine einen gewissen Widerstand giebt, bei welchem die Stromstärke gleich Null ist.

In dem Vorhergehenden wurde die Rotations-Geschwindigkeit der Maschine als constant vorausgesetzt und die Curve war nur für eine Geschwindigkeit V giltig; wünscht man dieselbe für eine Geschwindigkeit V' kennen zu lernen, so braucht man nur die Ordinaten mit dem Werthe $\frac{V'}{V}$ zu multipliciren; denn einer jeden Geschwindigkeit entspricht eine gewisse

Intensität des magnetischen Feldes. Die elektromotorischen Kräfte für verschiedene Geschwindigkeiten sind nämlich innerhalb der in der Praxis anzuwendenden Grenzen den Geschwindigkeiten proportional und die Curve würde daher die in Figur 16 abgebildete Gestalt annehmen.

Die Richtigkeit dieses Satzes hängt demnach von einer möglichst beschränkten Variation der Rotations-Geschwindigkeiten in der Praxis ab.

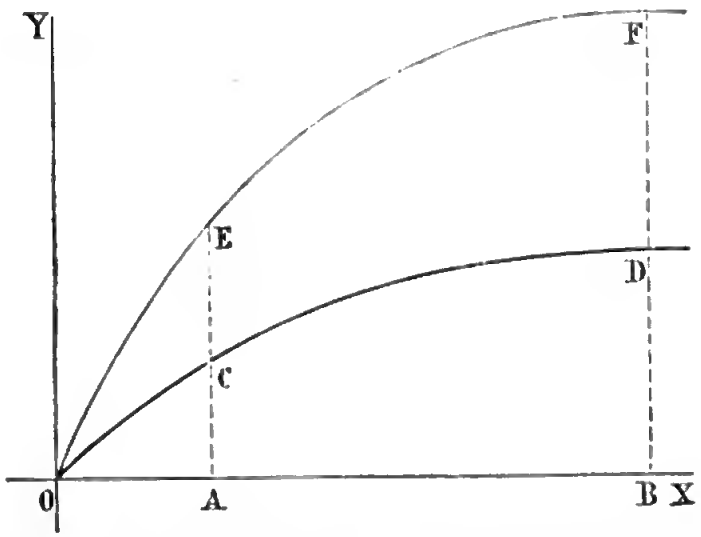
Eine ähnliche Aenderung der Curve wird man erhalten, wenn man die Wickelung der Maschine ändert, d. h. wenn man z. B. die Anzahl der Windungen auf der Armatur der Maschine modificirt, ohne andere Aenderungen vorzunehmen, also auch ohne das Volumen der Armatur zu ändern.

Wenn bei der gewöhnlichen Wickelung t die Anzahl der Windungen war, während dieselbe bei der neuen Wickelung t_1 ist, so wird man die elektromotorische Kraft, welche, wenn die anderen Bedingungen dieselben bleiben, proportional der Drahtlänge auf der Armatur ist, mit $\frac{t}{t_1}$ multipliciren müssen, um die neue Curve zu erhalten.

In Figur 16 entspricht die Curve OCD der Rotations-Geschwindigkeit v und OEF der Geschwindigkeit v_1; die Widerstände für die Stromstärke OA werden in beiden Fällen durch die Tangenten der Winkel COA, resp. EOA bestimmt, und wenn man die erste charakteristische Curve kennt, so kann man die betreffenden Elemente für die anderen Curven einzeln finden, ohne diese Curven selbst zu construiren.

Sucht man z. B. die elektromotorische Kraft und die Stromstärke für einen gegebenen Widerstand R bei einer Rotations-Geschwindigkeit v_1 und hat man die Curve für die Rotations-Geschwindigkeit v construirt, bezeichnet man ferner $\frac{v}{v_1}$ mit K, die gesuchte elektromotorische Kraft mit E, und mit I die gesuchte Stromstärke, während man e die elektromotorische Kraft

Fig. 16.



nennt, welche der Rotations-Geschwindigkeit v entspricht, so erhält man für die Geschwindigkeit v_1 die Gleichung

$$E = Ke,$$

woraus folgt

$$I = \frac{Ke}{R}$$

und ferner

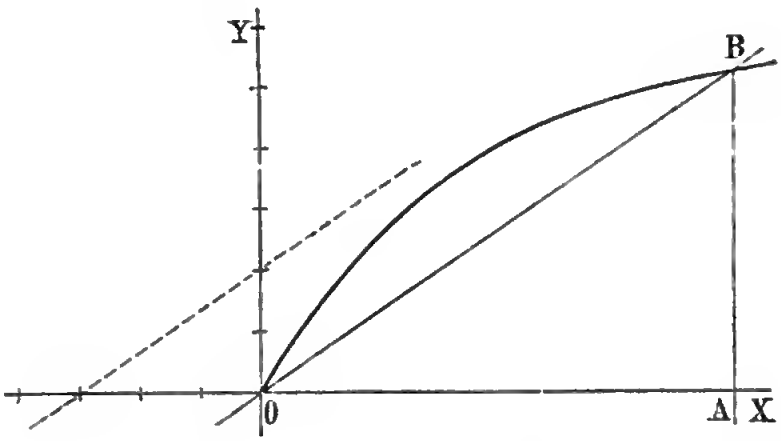
$$\frac{e}{E} = \frac{R}{K},$$

d. h. wenn man auf der graphischen Darstellung der bereits gefundenen Curve einen Widerstand $= \frac{R}{K}$ an-

deutet, so erhält man die Linie für I, indem man die Linie OY (Fig. 17) in Theile eintheilt, die den Widerständen proportional sind, während man auf OX den Rotations-Geschwindigkeiten proportionale Theile abträgt, wobei man die frühere Rotations-Geschwindigkeit als Einheit annimmt. Die Einheiten für beide Scalen sind also gleich gross.

Trägt man auf der Linie OY den Widerstand R ab, und auf der Axe OX die Grösse $v = Kv_1$;

Fig. 17.



verbindet man die so erhaltenen Punkte, so macht die sie verbindende Linie einen Winkel, dessen Tangente $\frac{R}{K}$ ist. Wenn man nun durch den Anfangspunkt die Parallele OB zieht, bis sie die charakteristische Curve schneidet, so stellt die Linie OA die Stromintensität I dar; E findet man durch Multiplication von AB und K.

Man kann die gefundene Curve auch dazu benützen, die Wirkung einer anderen Veränderung der Maschine festzustellen, nämlich derjenigen einer ver-

schiedenen Wickelung der Drähte der inducirenden Magnete.

Wenn man jedoch für diese Aenderung die früher gefundene Curve benützen will, so darf man die Drahtwickelung nur so ändern, dass sich der Widerstand derselben, nicht aber das Volumen der inducirenden Magnete, verändert, und müssen ebenso alle übrigen Bedingungen dieselben bleiben.

Man nenne in diesem Falle t die frühere Anzahl von Windungen auf den inducirenden Magneten und t_1 die neue Anzahl derselben.

Da das Volumen der Drahtmasse unverändert bleibt, so wird die in jeder Windung verursachte Schwächung des Stromes dadurch ausgeglichen, dass die Zahl der Windungen um so grösser ist, und man wird bei den Stromstärken I und I_1 nichtsdestoweniger dieselbe Intensität des magnetischen Feldes erhalten, wenn $t\,I = t_1\,I_1$ ist. Eine elektromotorische Kraft, welche I entspricht, wird demnach auch einer Intensität $I_1 = I \times \frac{t}{t_1}$ entsprechen, man braucht also nur die Abscissen in der Weise variiren zu lassen, wie das in Fig. 18 veranschaulicht ist, um so die neue Curve zu erhalten.

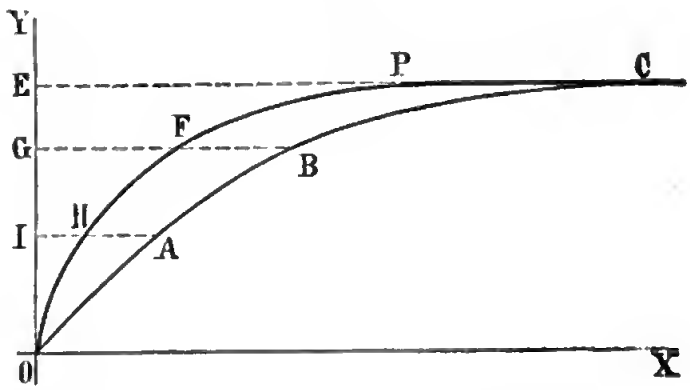
Hat man die Maschine auf zweierlei Weise zu gleicher Zeit modificirt, so kann man die beiden entsprechenden Aenderungen der Curve nach und nach vornehmen oder bei Calculation der Curve beide Coefficienten zugleich berücksichtigen.

Auch zur Bestimmung der Potential-Differenz an zwei beliebigen Theilen des Stromkreises, welche

durch einen bekannten Widerstand getrennt sind, lässt sich die charakteristische Curve benützen.

Wünscht man z. B. in einem Stromkreise $r + x$ zu wissen, welches die Potential-Differenz e an zwei verschiedenen Seiten des Stromerzeugers ist, die durch den Widerstand r getrennt werden, so lege man an die Linie OX (Fig. 19) den Winkel DOX an, dessen Tangente gleich $r + x$, und den Winkel COX, dessen Tangente gleich r sein muss, dann wird im ersten Falle der Gesammtwiderstand und im zweiten der

Fig. 18.



Widerstand zwischen den zu untersuchenden zwei Punkten repräsentirt.

Man erhält nun

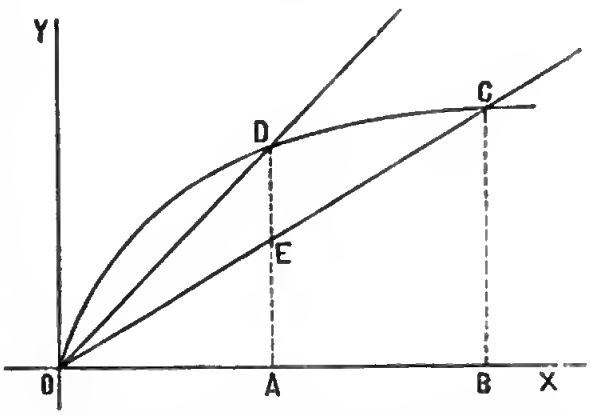
$$DA = OA \text{ tang } DOA = I(r + x)$$
$$EA = OA \text{ tang } COA = Ir$$
$$DA - EA = DE = x$$

Es ist aber nach dem Ohm'schen Gesetze Ix die Potential-Differenz zwischen den zwei Punkten des Stromkreises, die durch den Widerstand x getrennt sind, welcher nebst r den ganzen Stromkreis bildet; wir haben also e gefunden.

Um einen speciellen Fall zu geben, nehme man an, dass COX den inneren Widerstand der Maschine andeutet, und dass man den Gesammtwiderstand variiren lässt, so wird DE die Potential-Differenz an den Polen der Maschine bilden. Anfangs wird sie gleich Null sein, wenn nämlich OD mit OC zusammenfällt, und wird dann allmählich wachsen, ein Maximum erreichen und schliesslich wieder sich dem Nullpunkte nähern.

Allen bisher gegebenen Calculationen liegt eine Curve zu Grunde, welche construirt wurde, während die inducirenden Magnete ihren Strom von einer besonderen Quelle erhielten, also nicht in den Stromkreis eingeschaltet waren; es fragt sich nun, welche Aenderung wird die Curve erfahren, wenn die Maschine selbsterregend wird. Man nehme zu diesem Zwecke an, dass die inducirenden Magnete mit zwei getrennten Spiralen umwunden seien, deren Windungen nebeneinander liegen, also gleichweit von dem Eisenkerne entfernt sind und folglich einen gleichen Einfluss auf denselben ausüben. Wenn zwei verschiedene Ströme diese Spiralen gleichzeitig durcheilen, so werden sich ihre Wirkungen addiren und die Erregung wird gleich derjenigen sein, welche erzielt wird, wenn ein einziger Strom durch die Spiralen fliesst, dessen Intensität gleich der Summe der Intensitäten der beiden getrennten Ströme ist.

Fig. 19.



Sendet man nun durch die eine Spirale einen constanten Strom, welcher z. B. von einer Extramaschine erzeugt wird, so ist der Widerstand des Stromkreises dieses Stromes — da der letztere von dem Hauptstromkreise getrennt ist — bei der Berechnung des Gesammtwiderstandes nicht zu berücksichtigen; der Widerstand der zweiten Spirale jedoch, durch die der Strom der Dynamomaschine fliessen soll, gehört zum Hauptstromkreise und muss berücksichtigt werden.

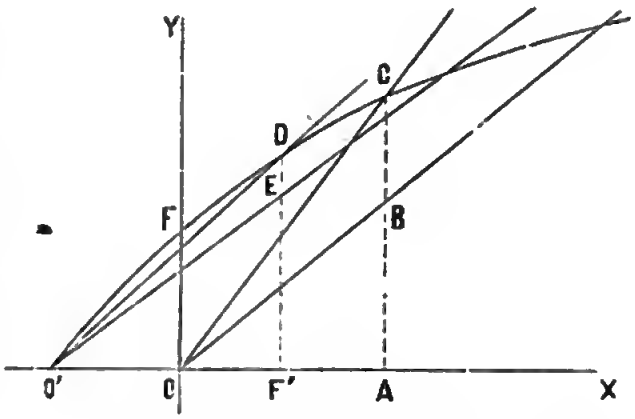
Es möge nochmals darauf hingewiesen werden, dass alle Curven für eine gegebene Rotations-Geschwindigkeit calculirt sind; wie sich dieselben bei verschiedenen Geschwindigkeiten ändern, wurde bereits besprochen.

Es sei nun, wie in den früheren Fällen, $O'FC$ (Fig. 20) die auf vorbeschriebene Weise entstehende Curve. Die getrennte Spirale werde von einem Strome durchflossen, dessen Intensität $O'O$ ist, und die elektromotorische Kraft sei OF', so lange der zweite Strom noch nicht entstanden ist; F' sei der Ausgangspunkt für die neue Curve. Tritt nun der in der Armatur erzeugte Strom in die für ihn bestimmte Spirale der inducirenden Magnete ein, so ist, wie gesagt, der Vorgang genau derselbe, als ob die gesammten Drahtwindungen der inducirenden Magnete von einem einzigen Strome durchflossen würden, dessen Intensität gleich der Summe der Intensitäten der beiden getrennten Ströme ist. Die charakteristische Curve bleibt von der Stelle an, wo die beiden Ströme zusammenkommen, ganz unverändert und man braucht nur den Anfang der Ordinaten von O' nach O zu

verlegen, die Widerstände berechnen sich dann von dem Punkte O aus.

Eine wichtige Folge lässt sich sofort erkennen. Es sei in dem ersten Falle durch $E\,O'\,X$ der innere Widerstand der Maschine bezeichnet, so wird die Maximal-Potential-Differenz, die man in diesem Falle erhalten kann, durch $D\,E$ ausgedrückt sein und wird dem Widerstande $D\,O'\,X$ entsprechen. Hat man jedoch bereits eine Initial-Intensität des magnetischen Feldes, und ist der innere Widerstand $B\,O\,X = E\,O'\,X$, so wird die nutzbare Potential-Differenz bedeutend wachsen, wie man aus der Linie $C\,B$ ersieht, die in dem graphisch dargestellten Falle noch nicht einmal ihre Maximallänge hat.

Fig. 20.



Untersucht man nun die charakteristischen Curven, welche allen den obigen Berechnungen zu Grunde liegen, in Bezug auf ihre Form, so wird man erkennen, dass der Anfang derselben sehr wenig gekrümmt ist, und man bis zu dem Momente, in welchem die Curve sich dem Sättigungspunkte der Elektromagnete zu nähern beginnt, diese Curve als eine gerade Linie betrachten kann.

Wendet man Maschinen an, deren inducirende Magnete sehr grosse Dimensionen im Verhältniss zur Armatur haben, so wird dieser Sättigungspunkt erst

sehr spät eintreten und die Curve dieser Maschinen wird sehr lange eine Gerade bleiben, aber selbst für die gewöhnlichen bisher construirten Maschinen kann man für die in der Praxis am Meisten vorkommenden Fälle die Curven durch eine Gerade ersetzen.

Herr Dr. Fröhlich in Berlin hat unter Anderem gerade die Möglichkeit bezweifelt, dass man für die in der Praxis vorkommenden Fälle die Deprez'sche charakteristische Curve durch eine Gerade ersetzen kann, und drückt sich in Bezug auf diesen Punkt (E. Z., März 1882) wie folgt aus: .... »Es ist diese Curve am Anfang und am Ende wohl durch eine Gerade zu ersetzen, nicht aber in der Mitte, wo der genannte Bereich liegt und wo die Curve gerade die meiste Krümmung besitzt.«

Da Deprez ganz ausdrücklich sagt (La Lumière Electrique 1881, Nr. 71, p. 329): »Si l'on examine une charactéristique, on remarque qu'elle commence par une portion dont la courbure est très faible jusqu'au moment où l'on s'approche du point de saturation des électro-aimants. Jusqu'à ce point, la caractéristique peut être très bien assimilée à une ligne droit« u. s. w., so ist zwischen den Ansichten des Berliner und des französischen Physikers, insoweit diese Ansichten sich auf den Theil der Curve beziehen, welchen man durch eine Gerade ersetzen kann, absolut keine Abweichung und es kommt nur darauf an, eine wie grosse Strecke der Curve man für die in der Praxis vorkommenden Fälle geeignet hält; wünscht man eine sehr lange Strecke der Curve zu benützen, so ist das oben angegebene Hilfsmittel von Deprez, welches in

einer Vergrösserung der Dimensionen der Elektromagnete besteht, sehr geeignet, den geraden Anfangstheil der Curve bedeutend zu verlängern.

Die Ansichten von Fröhlich und Deprez gehen überhaupt auch in Bezug auf andere Einzelheiten nicht so weit auseinander, als man beim Lesen der Aufsätze der Februar- und März-Nummern 1882 der Elektrotechnischen Zeitschrift vermuthen sollte, sondern es scheint, dass die beiden genannten Physiker nur verschiedene Seiten derselben Frage in ihren Auseinandersetzungen behandeln.

Auf seine oben gegebenen Untersuchungen basirt Deprez seine Methode, welche dazu dient, die Stromstärke, beziehungsweise die Potential-Differenz der Maschinen constant zu erhalten.

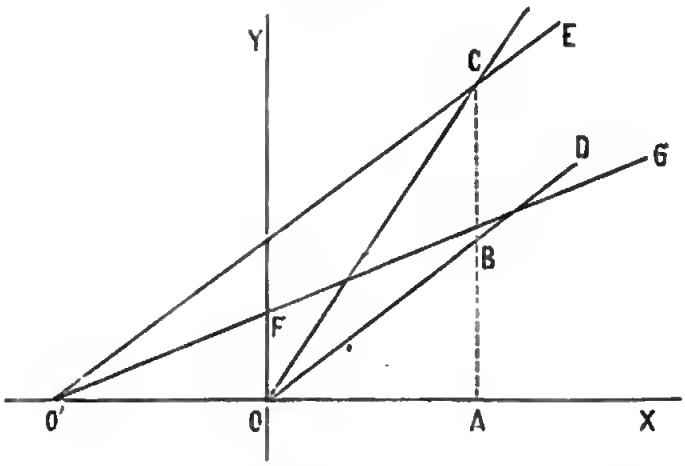
Wenn man für eine gewisse Rotations-Geschwindigkeit die charakteristische Curve gefunden hat, die man in ihrem, für die Praxis anzuwendenden Theil durch eine Gerade ersetzt, die einen gewissen Winkel mit der Linie OX macht, so findet man nach Deprez, wie bereits oben erwähnt, die Stellung dieser Geraden für andere Rotations-Geschwindigkeiten, indem man alle Ordinaten mit einem constanten Coefficienten multiplicirt, und je nach der Grösse dieses Coefficienten dreht sich diese Gerade mehr oder weniger um den Punkt, wo sie die Linie OX durchschneidet.

Es sei (Fig. 21) $O'G$ die charakteristische Curve einer Maschine. Erregt man nun die inducirenden Magnete gleich vom Anfange an durch einen constanten Extrastrom, so ist FG die charakteristische Curve, DOX bezeichnet den inneren Widerstand der Maschine.

Die Linien $F\,G$ und $O\,D$ werden sich nun gewöhnlich schneiden, d. h. die zwischen ihnen eingeschlossenen Ordinaten variiren, und da diese Ordinaten die Potential-Differenzen repräsentiren, so wird durch ihre Variation eine Variation der Potential-Differenz angedeutet.

Wünscht man also die Potential-Differenz constant zu erhalten, so kann man dieses durch eine Variation der Rotations-Geschwindigkeit erreichen. Hierdurch kann man nämlich veranlassen, dass die Gerade $O'G$ sich

Fig. 21.



um den Punkt O' so lange dreht, bis sie die Stellung $O'C$ einnimmt und also parallel $O\,D$ ist. Wenn dieser Fall eingetreten ist, wird die Linie $C\,B$, welche die Potential-Differenz an den Polen der Maschine repräsentirt, constant bleiben, was auch immer der Widerstand $C\,O\,X$ des äusseren Stromkreises sein mag.

Dies führt uns nun wiederum auf das eigentliche Thema dieses Capitels, nämlich die Stromtheilung und Stromregulirung zurück, und war es nöthig, die Deprez'sche Theorie der elektrischen Motoren so eingehend wiederzugeben, um das auf diese Theorie basirte Regulirungs-System zu verstehen.

Wenn man verschiedene Derivationen in einem Stromkreise anbringt, welche, ohne einander zu stören, functioniren sollen, so genügt es, an den Polen der Maschine eine constante Potential-Differenz e zu erzielen, wie dies auf die angegebene Weise geschehen kann; jeder der in einer Derivation eingeschalteten Apparate wird alsdann den zu seinem Betriebe nöthigen Strom $i = e\,r$ erhalten, dessen Intensität nur von dem Widerstande r abhängt und leicht regulirt werden kann.

Die von Deprez angegebene Methode, die elektromotorische Kraft an den Polen der Maschine constant zu erhalten, hat den grossen Vortheil, dass bei dieser Art der Regulirung dieselbe automatisch, momentan und ohne Zuhilfenahme mechanischer Hilfsmittel auf rein elektrischem Wege erfolgt.

In der Praxis wird die Methode auf folgende Weise zur Anwendung gebracht: Man lässt zuerst die Armatur der Maschine mit einer bekannten Geschwindigkeit v rotiren und calculirt die charakteristische Curve der Maschine. Der Coefficient, welcher den Winkel bestimmt, den der gradlinige Theil der Curve mit der Linie $O\,X$ macht, entspricht dem Wachsen der elektromotorischen Kraft für eine gegebene Intensität bis zur Einheit, und lässt sich demnach ausdrücken durch $\frac{E-E_0}{I}$, wenn man mit E_0 die elektromotorische Kraft bezeichnet, welche ihren Ursprung in dem von der Extramaschine erzeugten Strome hat.

Wenn die beiden Werthe nicht gleich gross sind, so suche man eine Rotations-Geschwindigkeit v_1 zu erreichen, für welche die Gleichung gilt

$$\frac{v_1}{v}\,\frac{E-E_0}{I}=r$$

woraus folgt $v^1 = \dfrac{vr}{\dfrac{E-E_0}{I}}$

Die Stärke des von der Extramaschine erzeugten Stromes wird man also so reguliren müssen, dass sie der für die Hauptmaschine gewünschten Potential-Differenz entspricht.

Hat man dieses gethan, so bringt man an den Polen der Maschine zwei Leitungsdrähte an, die natürlich dieselbe Potential-Differenz haben werden, wie die Maschine selbst, und zweigt von diesen beiden Leitungsdrähten überall, wo man es wünscht, Zweigdrähte nach den Apparaten ab, die von der Maschine in Betrieb gesetzt werden sollen; der Widerstand der Leitungsdrähte der Derivationen wird sich nach der Stromstärke zu richten haben, die man für einen jeden Apparat wünscht.

Natürlicher Weise wird, wenn der Stromkreis gross und die Abzweigungen zahlreich sind, gerade so wie bei Wasserleitungen und Gasleitungen die Kraft nach und nach geschwächt werden, d. h. die elektromotorische Kraft wird an den entfernten Stellen der Leitung nicht dieselbe sein, wie an den Polen der Maschine selbst, doch ist dieses Factum der Kraftschwächung allen Canalisations-Systemen gemeinsam und beeinträchtigt den Werth der Deprez'schen Methode durchaus nicht, da sich der Kraftverlust bei praktischen Anwendungen des Deprez'schen Systemes reguliren und registriren lässt.

Auch zur Constanterhaltung der Stromstärke und nicht blos zur Constanterhaltung der elektromotorischen Kraft giebt die Deprez'sche Curve die Mittel an die Hand und die erstere Regulation wird werthvoll, sobald man die durch den Strom der elektrischen Maschine zu betreibenden Apparate hintereinander, d. h. in Serien schaltet.

Um die Stromstärke constant zu erhalten, schaltet Deprez die Elektromagnete der Maschine in einer Derivation des Hauptstromes ein. Auf diese Weise wird der Hauptstrom in verschiedene Theile getheilt.

Man bezeichne nun diese Theile, wie folgt:

I_a sei der ganze Hauptstrom, welcher in der Armatur zum Vorscheine kommt;

I_b sei der Theil des Stromes, welcher zur Erregung der Elektromagnete dient;

I_x sei der Theil des Stromes, welcher im äusseren Stromkreise circulirt;

a sei der Widerstand der Armatur;

b sei der Widerstand der Elektromagnete;

x sei der Widerstand des äusseren Stromkreises.

Endlich sei E die gesammte elektromotorische Kraft und e die Potential-Differenz der Stellen, von welchen die Leitungsdrähte des Erregungsstromes vom Hauptstrome abzweigen.

Um die in Serien geschalteten Apparate in Betrieb zu erhalten, muss man den Theil, welcher mit I_x bezeichnet ist, constant erhalten.

Wir haben nun die Gleichung

$$I_a = I_b + I_x ,$$

d. h. der Hauptstrom ist gleich der Summe der Derivationen.

Ferner ist $$I_x = \frac{e}{x};$$

und ebenso $$I_b = \frac{e}{b}$$

woraus folgt $$I_a = \frac{e}{x} + \frac{e}{b}.$$

Wir wissen aber auch, dass die gesammte Stromstärke I_a gleich ist der gesammten elektromotorischen Kraft, dividirt durch den gesammten Widerstand.

Nun ist aber der gesammte Widerstand gleich

$$a + \frac{I}{\frac{I}{b} + \frac{I}{x}},$$

aus welcher Gleichung sich ableiten lässt

$$Ia = \frac{E}{a + \frac{I}{\frac{I}{b} + \frac{I}{x}}};$$

wenn man nun die beiden Werthe für I_a gleichsetzt, so erhält man

$$\frac{e}{b} + \frac{e}{x} = \frac{E}{a + \frac{I}{\frac{I}{b} + \frac{I}{x}}}$$

$$e\left(\frac{I}{b} + \frac{I}{x}\right) = \frac{E\left(\frac{I}{b} + \frac{I}{x}\right)}{a\left(\frac{I}{b} + \frac{I}{x}\right) + I}$$

$$e = \frac{E}{\left(\frac{I}{b} + \frac{I}{x}\right) + I} = \frac{E\,b\,x}{a(x+b) + bx} = \frac{E\,b\,x}{(a+b)x + ab}$$

also $$\frac{Eb}{e} = \frac{(a+b)x+ab}{x}$$

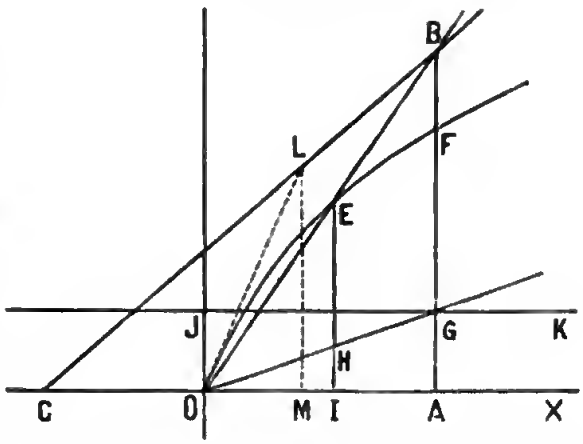
und folglich $$\frac{(a+b)x+ab}{x} = \frac{E}{\frac{e}{b}};$$

da nun $\frac{e}{b} = I_b$ ist, so erhält man

$$\frac{(a+b)x+ab}{x} = \frac{E}{I_b}$$

Mit Hilfe dieser Gleichung lässt sich aber leicht eine Modification der charakteristischen Curve calculiren, welche die Methode bezeichnet, durch deren Anwendung man I_x constant erhalten kann.

Fig. 22.



In Figur 22 ist OEF die charakteristische Curve der Maschine. Man construire die Linie CB nach der Gleichung

$$y = (a+b)x + ab,$$

trage auf OX die Länge $OA = x$ ab, errichte die Ordinate in A, deren Länge AB sei, und ziehe eine Linie durch O und B. Diese Linie trifft die Curve in einem Punkte E, für den sich als Ordinate EI ergiebt. Macht man alsdann $O\mathcal{J} = b$ und construirt $\mathcal{J}K$ parallel der Linie OX, so wird die Linie $\mathcal{J}K$ in G die Ordinate AB treffen; zieht man nun die Linie OG, so schneidet diese Linie in H die Ordinate EI, und die auf diese

Weise erhaltene Länge IH repräsentirt den gesuchten Werth für I; denn aus der Aehnlichkeit der Dreiecke OIE und OAB folgt

$$\frac{EI}{OI} = \frac{AB}{OA} = \frac{y}{x} = \frac{(a+b)x+ab}{x} = \frac{E}{I_b}.$$

Ausserdem folgt aus der Construction der charakteristischen Curve $EI = E$ und $OI = I_b$, und ferner haben wir die ähnlichen Dreiecke OIH, OAG, in denen

$$\frac{IH}{OI} = \frac{AG}{OA}$$

und also

$$\frac{IH}{I_b} = \frac{b}{x}$$

folglich $IH = I_b \frac{b}{x} = \frac{e}{b} \cdot \frac{b}{x} = \frac{e}{x} = I_x$

ist, was zu beweisen war.

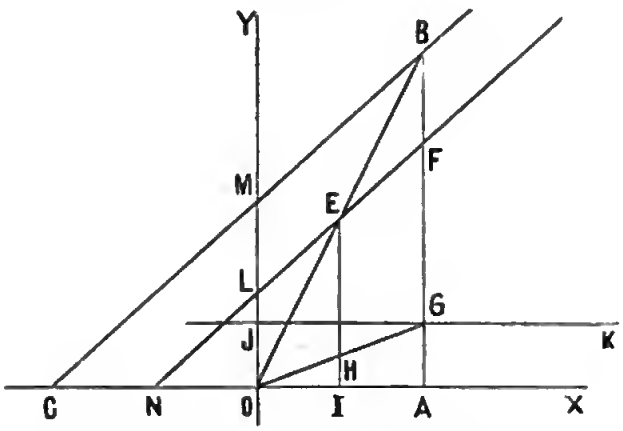
Wünscht man die äussere Stromstärke constant zu erhalten, so stelle man ebenfalls wie früher die Curve durch eine Gerade dar und errege die inducirenden Magnete nicht nur durch den Hauptstrom, sondern durch einen Extrastrom, so dass die charakteristische Curve, da der Anfangsmagnetismus der Elektromagnete, durch den Extrastrom erzeugt wird, nicht von dem Anfangspunkte ausgeht, sondern durch eine Gerade bezeichnet wird, welche die Linie Y schneidet (Fig. 23).

Verzeichnet man eine Linie $y = (a+b)x + ab$, welche durch die Construction der Maschine bestimmt wird, so lässt sich auf die oben angegebene Weise eine Rotations-Geschwindigkeit der Maschine finden, bei welcher die charakteristische Curve der Maschine parallel $y = (a+b)x + ab$ wird.

Das Resultat ist in Figur 23 veranschaulicht.

CB ist die Linie y, welche gleich $(a+b)x+ab$ ist, und NF die dieser Linie parallele charakteristische Curve. Wünscht man jetzt die Intensität für einen gegebenen äusseren Widerstand x zu finden, so mache man $O\mathcal{F}=b$ und ziehe die Linie $\mathcal{F}K$ parallel der Axe OX, mache $OA=x$, errichte die Ordinate BA bis zur Linie CB und verbinde O und B. Diese Gerade schneidet die charakteristische Linie in E; man fälle

Fig. 23.



alsdann das Loth EI und verbinde OG, dann ist $IH=Ix$ nach dem Gesagten.

Nun ist aber wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke

$$\frac{IH}{AG}=\frac{EI}{AF}=\frac{OE}{AB}=\frac{OL}{OM};$$

da nun die letztere Proportion constant ist, so ist

$$\frac{I_x}{b}=a$$

$$I_x=ab$$

constant.

Die Methode, vermittelst welcher man in der Praxis diejenige Geschwindigkeit ermittelt, bei der die

charakteristische Linie die gewünschte Stellung einnimmt, ist analog derjenigen, welche für die Constanterhaltung der elektromotorischen Kraft angewendet wurde.

Da die Linie, welche die Neigung der charakteristischen Curve bestimmt, gleich $(a + b)x + ab$ ist, der Neigungs-Coefficient gleich $-(a + b)$ und da derjenige der ursprünglichen charakteristischen Linie gleich

$$\frac{E - E_0}{I}$$

ist, so muss man eine Rotations-Geschwindigkeit suchen, bei welcher

$$\frac{V_1}{V} \frac{E - E_0}{I} = -(a + b)$$

und folglich $\frac{V_1}{V} = \frac{-(a + b)}{\frac{E - E_0}{I}}$ ist

Da nun aber $-(a + b)$ den Totalwiderstand repräsentirt, wenn die inducirenden Magnete und die Armatur sich, wie gewöhnlich, im selben Stromkreise befinden, so muss in beiden Fällen — handelte es sich nun um Constanterhaltung der Intensität oder der Potential-Differenz — die Geschwindigkeit der Maschine eine gleiche sein, und der einzige Unterschied liegt in der Art und Weise der Schaltung der Apparate.

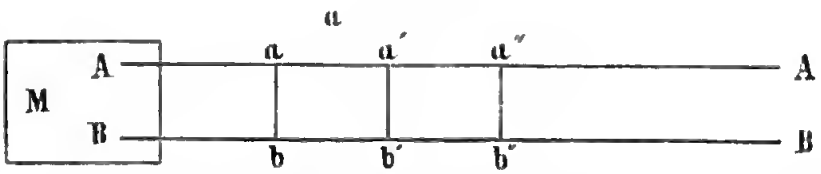
Daraus folgt, dass man bei einer gewissen Rotations-Geschwindigkeit durch einen einfachen Umschalter beide Resultate mit derselben Maschine erreichen kann.

Die in dem Vorhergehenden beschriebenen Stromtheilungs- und Regulirungsmethoden von Marcel Deprez sind nicht blos Theorie geblieben, sondern der

Erfinder hat bereits im letzten Jahre auf der Pariser Ausstellung eine ausgedehnte Anwendung von seinen Methoden gemacht, und schien der ausgezeichnete Erfolg die Richtigkeit der Deprez'schen Theorien klar zu beweisen.

Der von Deprez angewendete Motor war eine für Kraftübertragung modificirte Gramme-Maschine des gewöhnlichen Typus *C*, welche durch einen Otto'schen Gasmotor in Bewegung gesetzt wurde. Diese Gramme'sche Maschine übertrug ihre Kraft auf eine grosse Anzahl von kleinen Motoren, meistens Deprez'scher Construction, wie ein solcher auf Seite 33 beschrieben und in Figur 5 abgebildet ist.

Fig. 24.



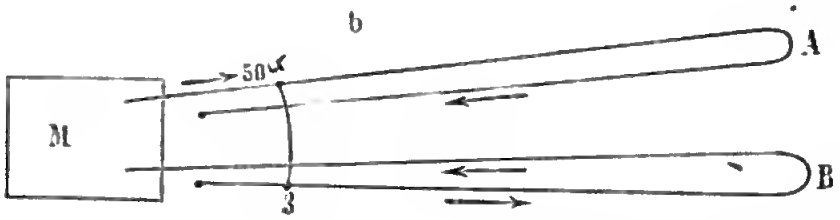
Die Gramme-Maschine erhielt den Strom für ihre Elektromagnete nicht nur durch Selbsterregung, sondern auch durch eine kleine Siemens'sche Extramaschine. Die Rotations-Geschwindigkeit der Siemens'schen Maschine war 2000 Umdrehungen per Minute, die der Gramme'schen 800 Umdrehungen per Minute.

Die Derivationen, welche nach den einzelnen Secundärmotoren und den damit verbundenen Apparaten führten, waren nicht in der Weise von den zwei Hauptleitungsdrähten *A* und *B* abgezweigt, dass dieselben wie in Figur 24 in verschiedenen Entfernungen von der Maschine *a b*, *a' b'*, *a'' b''* abbogen, sondern Deprez hatte die in Figur 25 skizzirte Manier angewendet.

Jeder der beiden Hauptleitungsdrähte war nämlich wieder in die Nähe seines Ausgangspunktes zurückgeführt und jede Derivation so hergestellt, dass alle Zweigdrähte gerade so wie der Zweigdraht *b*, von einer Stelle des Hauptdrahtes *A* abzweigten, die genau so weit von dem einen Pole der Maschine entfernt war, wie die Stelle des Drahtes *B*, wo die Derivation endete, von dem zweiten Pole der Maschine.

Auf diese Weise hatten alle Derivationen mit dem Hauptstromkreise gleiche Länge, nämlich 1000 Mtr., wodurch eine vollständige Gleichmässigkeit der elektro-

Fig. 25.



motorischen Kraft in den verschiedenen Theilen des Leitungssystems erzielt wurde.

Die erste Derivation führte zu einem Deprez'schen Motor, der für den Betrieb einer kleinen Bunon'schen Metall-Schneidemaschine etwa $^1/_{20}$ Pferdekraft lieferte. Der Zweigleitungsdraht war 9 Mm. dick und für den ganzen Zweigstromkreis 72 Fuss lang. Die Hauptleitungsdrähte führten alsdann zu der Treppe des Ausstellungsgebäudes und dort zweigten Derivationen nach fünfzehn verschiedenen Apparaten ab, welche alle durch Deprez'sche Motoren betrieben wurden.

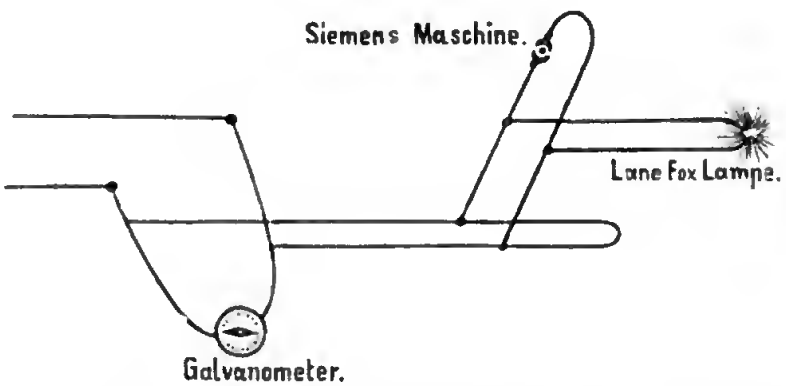
Hierunter waren: zwei Nähmaschinen, eine Holzschneidemaschine, zwei Platirmaschinen und eine kleine Maschine zur Anfertigung von Kupferketten.

Ausserdem befanden sich auf einem Tische ein Deprez-sches Galvanometer und eine Gülcherlampe, ferner speiste der Strom in der Nähe eine Lane Fox-Lampe und eine Siemens'sche Maschine.

Zu den letztgenannten Apparaten waren nicht auf die oben beschriebene Weise Derivationen geleitet, sondern dieselben waren, wie Figur 26 zeigt, in Zweigleitungen eingeschaltet, von denen die eine jedesmal eine Derivation der anderen bildete.

Ausserdem wurden durch den Strom der Gramme-schen Maschine betrieben zwei weitere Platirmaschinen

Fig. 26.



und eine andere Holzschneidemaschine, welche ebenfalls mit Deprez'schen Motoren verbunden waren.

Ein anderer Theil des Leitungssystems war in einem Zimmer zu sehen, in welchem die Firma Carpentier (Ruhmkorff) ihre Apparate ausgestellt hatte. Hier war eine Derivation des Hauptstromkreises, die mit einem Commutator in Verbindung stand, und wurde der Strom abwechselnd dazu benützt, einen grossen Elektromagnet zu magnetisiren, einen Deprez'schen Motor zu treiben oder die Betriebskraft für einen sogenannten Carpentier'schen Melograph zu liefern.

In einem benachbarten Zimmer wurde eine Uhrmacher-Drehbank in Bewegung gesetzt, in einem anderen Zimmer wieder der abgezweigte Strom abwechselnd zum Betriebe einer Drehbank und einer Cirkelsäge verwendet u. s. w.; vielleicht die interessanteste Derivation war jedoch die, welche sich der Schweizer Ausstellung gegenüber befand.

Dort wurde nämlich von zwei Zweigleitungen die eine dazu benützt, den Strom für eine Vigneron'sche Platirmaschine, die vermittelst eines Deprez'schen Motors betrieben wurde, zu liefern, während die andere die Betriebskraft für eine Marinoni'sche Druckpresse übermittelte.

Der Leitungsdraht für die Platirmaschine war 0·35 Cm. dick und 35 Fuss lang, der für die mit einer Siemens'schen Maschine verbundene Marinoni'sche Presse bestimmte Zweigdraht hatte eine Dicke von 0·9 Cm. und eine Länge von 70 Fuss. Die von der Presse verbrauchte Kraft betrug circa 13.000 Fusspfund, während die Platirmaschine nur 1300 Fusspfund absorbirte, und nichtsdestoweniger konnte man beide Maschinen gleichzeitig oder einzeln arbeiten lassen, ohne dass die Bewegung der einen auf die der anderen auch nur den geringsten Einfluss ausgeübt hätte.

Kurzum, es waren von dem Hauptstromkreise Derivationen für 27 verschiedene Apparate abgezweigt, von denen die meisten je 900 bis 1800 Fusspfund Betriebskraft consumirten, während die Druckerpresse, wie gesagt, 13.000 Fusspfund zu ihrem Betriebe brauchte.

Alle Besucher der Ausstellung konnten sich davon überzeugen, dass ein jeder der in das Deprez'sche

Drahtnetz eingeschlossenen Apparate vollständig unabhängig von den anderen fungirte, und konnte man, wie gesagt, eine beliebige Anzahl der Apparate einschalten und ausschliessen, ohne dass dadurch die Rotations-Geschwindigkeit der anderen Apparate im Geringsten beeinflusst, d. h. verringert oder erhöht wurde.

Trotz dieser praktischen Demonstration von der Anwendbarkeit der Deprez'schen Theorie betrachten manche Elektriker die Formeln des französischen Physikers immer noch in sehr skeptischer Weise, und einer der Hauptpunkte, welcher den Gegnern Anlass giebt, den praktischen Werth der Deprez'schen Calculation zu bezweifeln, ist der, dass das Deprez'sche Regulations-System auf der Construction einer Curve beruht, welche aufgenommen wird, wenn die Maschine nicht selbsterregend wirkt.

Dieses Factum jedoch beeinflusst den Werth der Curve unserer Ansicht nach durchaus nicht. Herr Dr. Fröhlich ist der Ansicht, dass die störend wirkenden Inductions-Erscheinungen, welche durch den directen Einfluss der Armaturwindungen auf die Magnetpole entstehen und deren magnetische Stärke schwächen, bei der Deprez'schen Curve nicht in Anschlag gebracht sind, und dass in Folge dessen das Resultat unrichtig ist. Diese Wirkungen sind jedoch vorhanden, ob die Maschine selbsterregend ist oder nicht, d. h. der durch die Elektromagnet-Spiralen fliessende Strom magnetisirt die Eisenkerne der Magnete, und der von demselben dadurch erzeugte Magnetismus wird natürlich durch die Wirkung des Stromes auf die diesen Spiralen gegenüberstehenden Polstücke sehr beeinträchtigt, da

der Strom der Armaturspiralen in entgegengesetzter Richtung zu dem Elektromagnetstrom wirkt. Ob nun aber der Strom der Armatur zur Erregung der Elektromagnete benutzt wird oder nicht, macht in dieser Hinsicht keinen Unterschied, denn die Armatur ist stets in der Nähe der Magnetpole; nur wird, wenn die Maschine selbsterregend wirkt, die Folge der beschriebenen Erscheinung sein, dass die Stromstärke in der Armatur, welche ja wiederum von dem Magnetismus der Elektromagnete abhängig ist, nicht proportional der Rotations-Geschwindigkeit wächst — was ja auch von Deprez nicht behauptet wird — wohl aber wächst die elektromotorische Kraft und der wirksame Magnetismus mit der Stromstärke des die Elektromagnete durchfliessenden Stromes immer in annähernd zu berechnender Weise, wenn man die störenden Inductions-Erscheinungen in der Armatur in Anschlag bringt, wie das ja durch die Art und Weise, in der die Deprez'sche Curve aufgenommen ist, geschieht.

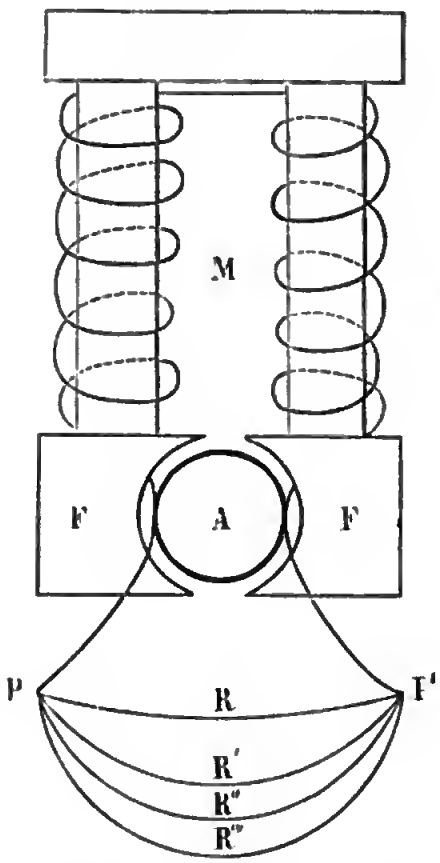
VIII.

Sprague's und Fröhlich's Ansichten über die Theilung des elektrischen Stromes.

Sprague entwickelt die allgemeinen Anforderungen einer elektrischen Stromtheilung im »Electrician« an der Hand nachfolgender graphischer Darstellungen. In Fig. 27 ist M der Stromerzeuger, $p\,p'$ sind die Enden der Leitung, R, R', R'', R''' von denselben ausgehende

parallele Schliessdrähte. Nun muss, gleichviel welcher Widerstand in der Maschine vorhanden ist, wieviel Schliessbögen abgeleitet sind, oder welchen Widerstand sie bieten, wenn sie nur von den gleichen Endpunkten ausgehen, der Strom in irgend einem Punkte der Zweigleitungen gleich der Differenz der Potentiale in den Punkten p und p' sein, dividirt durch den Widerstand in der fraglichen Zweigleitung. Es hat dabei die Hinzufügung oder Wegnahme einer beliebigen Anzahl von Schliessdrähten nicht den geringsten Einfluss auf die in den bereits eingeschalteten Zweigleitungen circulirenden Ströme, sobald eben nur die obige Differenz der Potentiale $p—p'$ constant bleibt. Infolge dessen werden die Ströme in den verschiedenen Leitungen ihren respectiven Widerständen umgekehrt proportional, von einander aber vollkommen unabhängig sein. Da sich der äussere Widerstand mit der Vermehrung der Zweigleitungen vermindert, wird sich der von den Endpunkten ausgehende ganze Strom im umgekehrten Verhältniss zum äusseren Widerstande ändern; der ganze Strom ist aber der durch die Armaturen gehende. Da aber auch der innere Widerstand in Betracht zu ziehen ist, so

Fig. 27.



ändert sich die elektromotorische Kraft der Maschine doch, wenn auch die Differenz der Potentiale an den Endpunkten constant bleibt.

Betrachten wir nun eine Maschine, welche mit einem äusseren Widerstand gleich dem inneren a, einer gegebenen Geschwindigkeit und Grösse des Stromfeldes, eine elektromotorische Kraft $= E$ erzeugt; nennen wir den äusseren Widerstand $a\,r$, d. i. eine Function von r, vom inneren, und lassen den Strom im magnetischen Felde, unabhängig vom erzeugten Strom, von der Geschwindigkeit oder von beiden, sich verändern, in demselben Masse, als sich der äussere Widerstand ändert, so dass die Differenz der Potentiale in den Endpunkten constant bleibt. Betrachten wir dann die Veränderungen in der elektromotorischen Kraft (EMF Fig. 28) des Erzeugungsmotors, so haben wir für zwei äussere Widerstandswerthe, $a =$ dem inneren und $a\,r$ grösser oder kleiner als a, zwei Ströme:

$$C = \frac{E}{2\,a},$$

$$C' = \frac{E'}{a\,(1+r)},$$

daraus folgt

$$1.\quad \frac{C}{C'} = \frac{E\,a\,(1+r)}{2\,a\,E'} = \frac{E(1+r)}{2\,E'}.$$

Da aber unter den oben angenommenen Voraussetzungen für das Verhältniss der beiden Ströme auch die Gleichung

$$2.\quad \frac{C}{C'} = \frac{a\,r}{a} = r$$

gilt, so folgt durch Gleichsetzung von 1 und 2

$$r = \frac{E(1+r)}{2E'}$$

und hieraus findet sich für

$$E' = \frac{E(1+r)}{2r}, \text{ oder}$$

$$E' = \frac{E}{2}\left(\frac{1}{r} + 1\right)$$

Differenziren wir diese letzte Gleichung mit E als Einheit der elektromotorischen Kraft und E' und r als veränderlichen Grössen, so ergiebt sich

$$\frac{dE'}{dr} = -\frac{E}{2r^2}$$

und

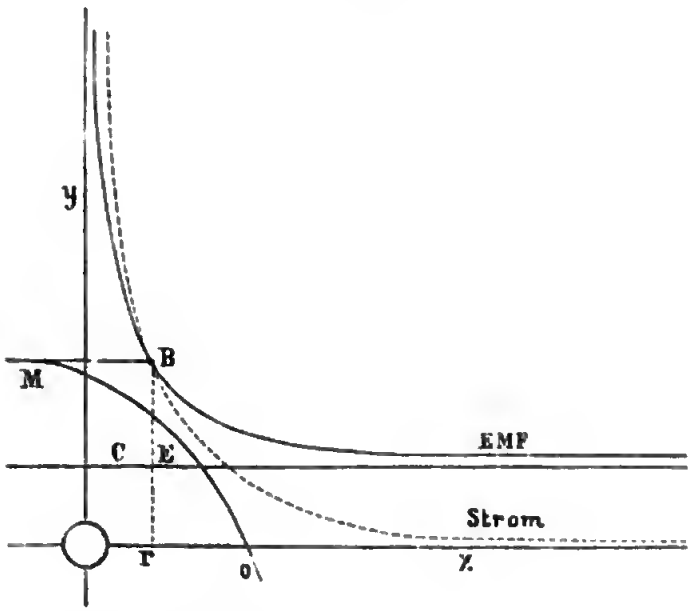
$$\frac{d^2E^1}{dr^2} = \frac{E}{r^3},$$

welche Gleichung den Charakter der Curve der elektromotorischen Kraft unter den vorher angeführten Verhältnissen bestimmt. Verzeichnen wir dieselben mit r und E^1 als Coordinaten x und y, so ergiebt sich eine Curve mit starker Krümmung nahe am Ausgangspunkte und mit Schenkeln, deren Asymptoten einerseits mit der Ordinatenaxe Y, andrerseits mit einer zur Abscissenaxe X parallelen und von dieser um $\frac{E}{2}$ entfernten Geraden zusammen fallen.

Fig. 28 zeigt diese Curve voll ausgezogen und mit $B\ E\ M\ F$ bezeichnet; dieselbe zeigt folgende charakteristische Eigenschaften. Lothe, welche von der Curve auf die Axe X gefällt werden, repräsentiren den für den betreffenden Punkt der Curve geltenden Werth der elektromotorischen Kraft im Verhältniss

zur Einheit E, welche einer bestimmten Anzahl von Volts gleich sein mag, und die Entfernung vom Ursprung das Verhältniss des äusseren zum inneren Widerstande. Es lassen sich nun aus dieser Curve einige wichtige zum Theil wohlbekannte, zum Theil aber auch noch neue Grundsätze ableiten, bezüglich der Oekonomie und praktischen Ausführbarkeit der Theilung von Elektricität oder der Darstellung von

Fig. 28.



Strömen, welche sich dem Widerstande der Zweigleitungen umgekehrt proportional verhalten, wobei wir uns erinnern, dass die durch einen Extrastrombogen in einer Maschine erregte elektromotorische Kraft der Kraft des freien magnetischen Feldes und der Rotations-Geschwindigkeit der Armatur fast vollkommen proportional ist. Natürlich ist dies auch noch einigermassen abhängig von der durch eine Verstärkung des Stromes im metallischen Leiter hervorgerufenen Erhitzung, der sich

daraus ergebenden Veränderung des Widerstandes, der Verschiebung des magnetischen Feldes und der Erwärmung der eisernen Armaturtheile. Wir erhalten folgende Regeln:

1. In einer einzelnen Erzeugungsmaschine ist die elektromotorische Kraft nicht abhängig von der Zahl der zu Bewegungs- oder anderen Zwecken abgezweigten Leitungen.

2. Gleichviel wie stark der äussere Widerstand ist oder wieviel Leitungen abgezweigt wurden, die elektromotorische Kraft einer zur Erzielung einer bestimmten Differenz in den Potentialen der Endpunkte genügenden elektrischen Maschine kann nie geringer als die Hälfte der überhaupt entwickelten Kraft sein, wenn die äusseren und inneren Widerstände sich gleich sind.

3. Wenn der äussere Widerstand sich vermindert oder die Zahl der Zweigleitungen grösser wird, so ist bis zu dem Punkte, wo der äussere Widerstand das Drei- oder Vierfache des inneren beträgt, nur eine sehr allmähliche Zunahme der elektromotorischen Kraft erforderlich; von diesem Punkte an muss sie dann rascher zunehmen.

4. Wenn der äussere Widerstand geringer wird als der innere, so ist die Zunahme eine sehr rasche, und wenn sich die Differenz beider fühlbar macht, wird es unausführbar eine bestimmte Differenz der Potentiale einzuhalten, weil dazu eine allzu grosse Verstärkung des magnetischen Feldes und Vermehrung der Rotations-Geschwindigkeit der Armaturen erforderlich sein würde. Ein grosses Quantum Wärme wird hierdurch

in den Armaturen entwickelt und folglich geht ein entsprechender Betrag von Energie in denselben verloren.

Gehen wir zur Betrachtung einer anderen Curve über. Unsern Voraussetzungen entsprechend, ist der Hauptstrom umgekehrt proportional zu r, dem Coefficienten vom Verhältniss des äusseren Widerstandes zum innern, oder C ist der Strom, welcher entsteht, wenn die elektromotorische Kraft $= E$ ist, das heisst

$$C = \frac{C}{r}.$$

Tragen wir diese Curve auf demselben Coordinatensystem auf wie die vorhergehende und verwenden wir, um einen Vergleich zu ermöglichen, dieselbe Masseinheit für C wie für E, so finden wir, dass die durch eine punktirte Linie dargestellte Stromcurve einige Aehnlichkeit mit der voll ausgezogenen Curve der elektromotorischen Kraft hat, dass sie sich aber beiden Coordinatenaxen als Asymptoten nähert und nach rechts rasch unter die erstbetrachtete Curve fällt, während sie links etwas oberhalb derselben bleibt. Ein Blick zeigt sofort die Beziehungen zwischen dem Strom und der elektromotorischen Kraft für verschiedene Verhältnisse zwischen dem äusseren und inneren Widerstande.

Verzeichnen wir nun noch die Curve der magnetischen Kraft (vertical gemessen) in Verbindung mit der Zunahme des Stromfeldes (horizontal und nach links aufgetragen), so findet sich, dass die magnetische Kraft anfangs ganz regelmässig wächst; dann verflacht sich aber die Curve mehr und mehr der Zunahme des Stromes entsprechend bis zu dem Punkte, wo eine

weitere bedeutende Zunahme des Stromfeldes nur eine geringe, ökonomisch ungenügende Steigerung der magnetischen Kraft zur Folge haben würde. Ein Theil der Energie des verstärkten Stromes würde sich zweifellos in Wärme umsetzen, sowohl in den Drahtspiralen als in den Eisentheilen des Magnets.

Wo nun im Allgemeinen bei der Theilung des elektrischen Stromes die Anzahl der Zweigleitungen gross ist, da muss nothwendiger Weise der äussere Widerstand gering sein; starke Ströme gehen durch die stromerzeugende Maschine. Wir wünschen aber die Energie des Stromes im äusseren Schliessungskreise zu haben und nicht in der Maschine. Man hat oft gemeint, dass wenn der äussere Widerstand in eben erwähnter Weise vermindert worden sei, man den Widerstand an den einzelnen Verwendungsstellen so gross wie möglich nehmen solle. Dies ist aber nicht richtig, denn es giebt bestimmte Beziehungen zwischen der geleisteten Arbeit und der aufgewandten Energie, welche den obigen Satz einschränken.

Die Formel für die geleistete Arbeit ist:

$$\frac{E^2}{R} \cdot 44 \cdot 24$$

oder

$$C^2 R \cdot 44 \cdot 24$$

Daraus ersehen wir, dass bei einer gegebenen elektromotorischen Kraft, die geleistete Arbeit sich im umgekehrten Verhältniss zum Widerstande ändert und dass bei gegebenem Widerstande sich die Arbeit wie das Quadrat der elektromotorischen Kraft oder das Quadrat der Stromstärke verhält. Wenn wir den Widerstand um ein gewisses Vielfaches d eines gegebenen

Widerstandes wachsen und dabei den Kraftaufwand unverändert lassen, so steigern wir die verfügbare elektromotorische Kraft, aber nur im Verhältniss $\sqrt{d}$, so dass einer Vervielfachung des Widerstandes nur eine Verdoppelung der elektromotorischen Kraft entsprechen würde.

Betrachten wir der Einfachheit halber hier für einen Augenblick den Fall einer elektrischen Lampe. Wird in derselben ein Kohlenkörper von rundem Querschnitt gebraucht, so würde das Gewicht desselben unverändert bleiben, wenn man gleichzeitig den Durchmesser auf die Hälfte verringern und die Länge auf das Vierfache steigern würde; es würde sich dadurch aber der Widerstand auf das Sechszehnfache, die leuchtende Fläche dagegen nur um das Doppelte steigern. Oder wir können dieselbe Leuchtfläche mit dem halben Gewicht der Kohle, wenn wir den Widerstand achtmal so gross nehmen, erzielen. Bei dem gleichen Aufwande von Energie würde man das $\sqrt{8}$-fache der elektromotorischen Kraft bedürfen wie bei der dickeren Kohle, aber nur das $\frac{1}{\sqrt{8}}$-fache der Stromstärke. Dies würde bedeuten, dass man für einen bestimmten Lichtbedarf mit demselben Aufwand an Lampen eine Tonne Kohlen gebrauchen würde bei Lampen von hohem Widerstande, gegenüber 8 Tonnen für solche mit niederem, vorausgesetzt, dass sich r nicht vergrössert — es wäre dies zweifellos ein gewichtiges Argument für die Verwendung von Kohlen mit hohem Widerstand.

Unser erster Gedanke würde also sein, den Durchmesser der Kohlen zu vermindern, dafür die Länge

und den Widerstand der Kohlen zu steigern, indem wir den Einfluss dieser Steigerung durch Vermehrung der elektromotorischen Kraft aufheben.

Aber im Allgemeinen wird man bei einem System für die Theilung des elektrischen Stromes, um gegen Feuersgefahr bei Lücken in der Isolirung oder Zerstörung derselben, gegen ein übermässiges Anwachsen der Stromstärke, und gegen körperliche Verletzungen, im Falle Menschen durch einen unglücklichen Zufall mit der Leitung in Berührung kommen, gesichert zu sein, nur geringe elektromotorische Kraft anwenden. Nach Thomson soll dieselbe nie über 200 Volts gehen, und auch da wird sie manchen Personen noch so unangenehme Schläge versetzen, dass man zweckmässig noch auf geringere Stärken zurückgehen wird.

Ausser der an Lampen oder Motoren der einzelnen Zweigleitungen abgegebenen Energie wird noch ein gewisser Bruchtheil zur Erregung des magnetischen Feldes an den Stromerzeuger abgegeben, und dieser wird repräsentirt durch denselben Ausdruck, welchen wir aufgestellt haben bei Ermittelung der Potential-Differenz an den Endpunkten und des Widerstandes in den Spiralen. Dann entsteht noch ein weiterer Abgang in den Windungen der Armaturen und Conductoren, welcher von deren Widerstand und der Stromstärke abhängig ist, und an den Bürsten der Commutatoren, letzterer insbesondere bei starken Strömen. Die Reibung in den Lagerschalen, das Gleiten der Transmissionsriemen, die Kraft, welche erforderlich ist, um die Trägheit der zu bewegenden Massen zu überwinden, consumiren einen weiteren Antheil der aufgewendeten Kraft.

Alle diese letzteren Kraftverluste, welche zusammen grösser sind als die an einer einzigen Verwendungsstelle entstehenden, bleiben sich vollkommen gleich, wenn an Stelle dieser einen, tausend und mehr Verwendungsstellen eingeschaltet werden. Es ist dieser Umstand bei der Auswahl einer Stromerzeugungs-Maschine für den Zweck einer vielseitigen Vertheilung elektrischer Ströme sehr wohl in Rechnung zu ziehen.

Aus den obigen und anderen naheliegenden Betrachtungen ergeben sich nun die folgenden Schlussfolgerungen:

1. Der Widerstand in der Armatur der Stromerzeugungs-Maschine sollte so niedrig angenommen werden, als es mit Rücksicht auf das zur Erzeugung der erforderlichen elektromotorischen Kraft dienende Ausmass von Energie nur möglich ist.

2. Die Stromerzeugungs-Maschine sollte im Stande sein, diese elektromotorische Kraft mit einer geringeren als der vom ökonomischen Standpunkte aus zulässigen Sättigung des magnetischen Feldes zu erzeugen und mit einer geringeren Rotations-Geschwindigkeit der Armaturen, als sie denselben noch mit Sicherheit ertheilt werden kann, damit für den Fall unerwartet höherer Ansprüche an die Leistungsfähigkeit, denselben genügt werden kann.

3. An den Verwendungsstellen soll ein verhältnissmässig hoher Widerstand bestehen.

4. Der Widerstand in den Leitungen sollte so niedrig wie möglich gehalten und der verlangten Stromstärke angepasst werden.

5. Die elektromotorische Kraft des Stromerzeugers sollte nie mehr als 170 Volts betragen.

6. Der Stromerzeuger und der Kraftmotor sollten in kräftigen Verhältnissen ausgeführt werden.

7. Die Ableitungsstellen sollten nach Möglichkeit alle dieselbe Potential-Differenz haben und auf derselben erhalten werden.

8. Die unabwendbaren Energieverluste in der Armatur und den Leitungen verhalten sich umgekehrt wie die Widerstände an den Verwendungsstellen oder wie die Quadrate der Theilströme.

9. Da in einem einzelnen Stromerzeuger die gesammte verwendete Kraft von der Anzahl der Verwendungsstellen im Schliesskreise nicht abhängt, sollte die Maschine stets bis nahe zu ihrer Leistungsfähigkeit getrieben werden.

10. Es sollte sowohl der Stromerzeuger als auch jede einzelne Zweigleitung vor Beschädigung gesichert sein, gleichzeitig aber auch allen äusseren Anforderungen in Bezug auf Widerstand und Stromstärke durch passende Abänderung des ersten und der vom Erzeuger gelieferten Stromstärke entsprechen können.

11. Die Beziehungen zwischen dem äusseren und inneren Widerstand sollten im ganzen Stromtheilungs-System dieselben sein wie im Stromerzeuger allein, wenn derselbe bis nahe an die Grenzen seiner Leistungsfähigkeit getrieben werden soll.

12. Bei solchen festen Beziehungen zwischen innerem und äusserem Widerstand wird die elektromotorische Kraft nur geringen Schwankungen unterliegen und die aufgewendete Kraft wird nahezu proportional sein zu

der Anzahl von Verwendungsstellen oder zur entwickelten Stromstärke.

13. Die Isolirung der Leitungen und der Armaturen sollte möglichst vollkommen sein und Vorkehrung getroffen werden, um bei ungewöhnlichem Anwachsen der Stromstärke alle Feuersgefahr auszuschliessen.

14. Um genaue Messungen des Stromverbrauches anstellen zu können, sollten dazu geeignete Messinstrumente vorhanden sein.

15. Ein grosses System sollte ebenso ökonomisch functioniren wie ein einzelner annähernd mit ganzer Kraft arbeitender Apparat und sollte sich auch mit ganz derselben Leichtigkeit reguliren lassen.

Es ist viel die Rede gewesen von Unterabtheilungen des elektrischen Stromes, resp. Weitertheilung desselben für die Zwecke elektrischer Beleuchtung oder für Versorgung vieler Verwendungsstellen mit elektrisch übertragener Kraft und dieser Ausdruck ist ein grosser Stein des Anstosses geworden; uns will derselbe vollkommen unrichtig erscheinen. Er setzt die Existenz eines Stromes, eine Ausgabe an Energie voraus, ehe die verlangte Untertheilung eines solchen Stromes überhaupt bewirkt ist. Wir wünschen nicht den Strom weiterzutheilen; ein Strom, welcher zertheilt werden muss, ehe er gebraucht werden kann, scheint uns gar nicht begehrenswerth.

Wenn wir einen Wasserbehälter bis zu einer bestimmten Höhe aufgestaut haben und zapfen denselben in einer Tiefe von, sagen wir 20 Fuss an, so wird ein Wasserstrom austreten, proportional der Höhe bis zum Wasserspiegel und dem Querschnitt des Ausflussloches; das in der Zeiteinheit abfliessende Wasserquantum aber

wird constant sein, so lange die Höhe des Wasserspiegels über dem Ausflussloche gleich erhalten wird. Indem wir das Wasser aufgestaut haben, erzielen wir ein bestimmtes Potential, aber es kann von keinem Wasserausflusse, von keinem Strom, und selbstverständlich auch von keinem Ergänzungszufluss die Rede sein, so lange nicht das Ausflussloch angebracht ist. Dieses Ausflussloch in Verbindung mit dem Potential des Wassers, schafft erst die Vorbedingungen zu einem Ausfluss und die Nothwendigkeit einer Ergänzung. Machen wir ein anderes, ein grösseres Ausflussloch, so wird ein grösseres Wasserquantum ausfliessen, aber der Ausfluss durch das erste Loch insolange nicht vermindert werden, als der Wasserspiegel auf derselben Höhe bleibt. Durch Eröffnung dieses zweiten Abflusscanales haben wir einen Zweigstrom geschaffen und das Bedürfniss eines weiteren Ergänzungszuflusses, aber ein solches Bedürfniss, ein solcher Zweigstrom existirte nicht vor der Schaffung der neuen Anforderung. Unser Reservoir mag sehr gross sein, unsere Zuflussquellen sehr bedeutend, aber erst wenn eine hinreichende Anzahl von Ausflüssen hergestellt ist, wird beides, Reservoir und Zufluss, vollkommen ausgenutzt werden und sich für das grosse Ganze ökonomisch vortheilhaft ausweisen, während sie für einen einzigen Ausfluss, für einen einzigen Verwendungszweck zu kostspielig waren.

Aehnlich verhält es sich auch mit der Vertheilung der Elektricität. Ein Strom ist eine Function nicht nur des Potentials, sondern des Potentials und des Widerstandes. Wir wünschen ein gewisses Potential, oder eine gewisse Potential-Differenz zu benutzen und erreichen

dies so, dass nach Installation eines Schliessungskreises, nach Eröffnung eines Abflusscanales, ein Strom in diesem Schliessungskreis circuliren wird. Wir theilen keinen Strom, theilen kein Potential, aber, nachdem wir eine Potential-Differenz in zwei Leitern hergestellt haben, eröffnen wir einen oder mehrere Wege, und ein Strom circulirt in jedem dieser Wege, dessen Stärke abhängig ist von dem Widerstande des einzelnen Weges, aber vollkommen unabhängig von der Stromstärke der anderen Wege, und nach Eröffnung eines jeden solchen Zweigstromes verstärkt sich der in der Hauptleitung fliessende Strom um genau den dadurch erwachsenen Mehrbedarf, ein Bedarf, der eben nicht eher vorhanden war, als bis der neue Weg geschaffen wurde. Es ist also keine Untertheilung eines Stromes vorgenommen worden, sondern die Eröffnung eines neuen Bedürfnisses. Nach erfolgter Einschaltung eines solchen neuen Zweigstromes muss natürlich mehr Kraft zugeführt werden, um das bisherige Potential aufrecht zu erhalten, und während das System für eine einzelne Lampe oder einen einzelnen Kraftbedarf viel zu kostspielig sein mag, kann es den Bedingungen einer ökonomischen und ausgiebigen Versorgung sehr wohl entsprechen, sobald nur eine genügende Anzahl von Zweigleitungen eingeschaltet worden ist. —

Als eine Schwäche des Deprez'schen Systems gilt gewöhnlich der Umstand, dass man bei Anwendung desselben die Arbeitsfähigkeit der elektrischen Motoren nicht auf das Aeusserste spannen kann.

Das System ist nämlich, wie erwähnt wurde, darauf basirt, dass man die Maschinen nur mit einer

Geschwindigkeit rotiren lässt, die erlaubt, die Stromcurve als eine Gerade zu betrachten, während bei einer vollständigen Ausnützung der Leistungsfähigkeit der Maschinen, die Curve allmählich eine starke Krümmung annimmt. Man muss also mit der Vermehrung der Leistungsfähigkeit der Maschine aufhören, ehe diese Krümmung der Curve beginnt, wenn man die Deprez'schen Formeln zur Regulirung des Stromes anwenden will, und es fragt sich, ob man zur Kraftübertragung auf grosse Distanzen nicht ungewöhnlich grosse Maschinen benützen muss und ob die Vorzüge der grossen Maschinen und der Einfachheit des Deprez'schen Systemes diesen Verlust an Material in der Praxis aufwiegen werden.

Ehe wir daher das Capitel über die Stromtheilung schliessen, wollen wir noch die Ansichten des Herrn Dr. Fröhlich über Kraftübertragung erwähnen, die sich gerade dadurch von den Deprez'schen unterscheiden, dass der Autor eine vollkommene Ausnützung der elektrischen Motoren bei der Kraftübertragung befürwortet.

Diese Ansichten sind resumirt in der Elektrotechnischen Zeitschrift (E. Z., 1882, März, S. 113) und bestehen etwa im Folgenden:

Jede Maschine repräsentirt bei gleicher Tourenzahl und gleichem Drahtvolumen, welches immer auch die Anzahl der Drahtwindungen sein mag, stets dieselbe Arbeitskraft, d. h. sie braucht dieselbe Arbeit zu ihrem Betriebe.

Für die Kraftübertragung sollte demnach jeder Maschinenfabrikant eine vollständige Scala von Maschiner

haben, welche Arbeitskräfte von allen möglichen Grössen repräsentiren würden; denn nur durch zweckmässige Conjugirung verschiedener Maschinen lässt sich die Kraftübertragung nach Dr. Fröhlich's Ansicht in vortheilhafter Weise ausführen.

Ausserdem aber gehört auch zur günstigen Ausführung einer Kraftübertragung, wie der Autor sagt, dass jede Maschine möglichst vollständig ausgenützt werde. Es handelt sich daher darum, die Grenzen der Ausnützung einer Maschine zu kennen.

Diese Grenzen sind durch die Construction der Maschine selbst gegeben, denn bei jeder Maschine ist die Vermehrung der Leistungsfähigkeit dadurch begrenzt, dass man die Rotations-Geschwindigkeit und die Temperatur-Erhöhung nur bis zu einem gewissen Punkte ausdehnen darf, wenn man den Motor nicht schnell unbrauchbar machen will.

Hat man diesen Punkt durch Versuche bestimmt, so sollte man nach der Vorschrift Dr. Fröhlich's die Maschine mit der äussersten erlaubten Rotations-Geschwindigkeit arbeiten lassen, um möglichst viel Kraft zu erhalten. Die Energie, welche bei dieser extremen Ausnützung der Maschinen erhalten wird, lässt sich genau messen und wird alsdann das für die Leistungsfähigkeit der Maschine charakteristische Merkmal sein.

Hat man nun die von verschiedenen Maschinen producirte Maximal-Energie bestimmt und eine Reihe von Maschinen gesammelt, welche möglichst viele Grade von Energie repräsentiren, so fragt es sich noch, welche Variationen im Strome der Maschine man durch

verschiedene Wickelungen derselben erzielen kann, d. h. wie man die Factoren I und E ändern kann, dadurch, dass man stärkeren oder dünneren Draht anwendet. Das Product EI bleibt, wie bereits an verschiedenen Stellen gesagt, bei gleicher Tourenzahl unverändert, wenn man das Volumen des Drahtes unverändert lässt.

Wenn man die störenden Inductions-Einflüsse und die Wirkungen der Armaturspiralen auf die Pole der inducirenden Magnete in der Berechnung ausser Acht lässt — und den durch dieses Ausserachtlassen entstehenden Fehler, sagt Dr. Fröhlich, kann man durch eine kleine Aenderung der Rotations-Geschwindigkeit der Maschine, die ja keine absolut constante Grösse zu sein braucht, ausgleichen — so wird, wenn man die Wickelung der Maschine so ändert, dass man für je eine Windung p Windungen von einem p mal kleineren Querschnitt aufwickelt, bei gleicher Tourenzahl und gleicher Wärme-Entwicklung die elektromotorische Kraft p mal grösser, der Widerstand p^2 mal grösser, die Stromstärke p mal kleiner, während der Magnetismus und die entwickelte Energie (IE) gleich bleiben.

Man kann also den obigen Vorgang in jeder Maschine mit dem in einer Batterie stattfindenden Vorgange vergleichen, wenn die Elemente erst auf Quantität gekoppelt waren und dann auf Spannung gekoppelt werden, d. h. das Product (EI) bleibt unverändert, während die Factoren E und I sich ändern.

Wenn man dieses berücksichtigt, so wird man einsehen, dass man durch geeignete Combination von

verschiedenen Maschinen alle Probleme der Kraftübertragung lösen kann, und ist eine allgemein richtige Calculation in Bezug auf die Grösse der zu wählenden Maschinen und die Schaltung derselben nicht schwierig, wenn man an dem Fröhlich'schen Grundsatze festhält, dass alle Maschinen möglichst vollständig ausgenützt werden sollen.

Wird z. B. angenommen, dass gewisse Maschinen bei ihrer derzeitigen unvollkommenen Construction, wenn sie zur Kraftübertragung benutzt werden, 50 Percent der aufgewendeten Kraft wiedergeben, so muss man in den gewöhnlichen Fällen drei gleiche Maschinen miteinander vereinigen und zwar zwei derselben als Primär-, die dritte als Secundär-Maschine benutzen.

Die von einer jeden der drei Maschinen bei vollkommener Ausnützung gelieferte Energie sei $= x$; die beiden vereinigten Primär-Maschinen ergeben alsdann eine Energie $+ 2x$, während die dritte Maschine 50 Percent dieser Energie wiedergiebt, also x und demnach bei der Wiedergabe von 50 Percent vollständig ausgenützt ist.

Was die Vertheilung der Energie anbetrifft, so calculirt Dr. Fröhlich dieselbe auf folgende Weise:

Es sei eine Fläche von erheblicher Ausdehnung, z. B. eine Stadt, gegeben, in derselben seien in beliebiger Vertheilung eine Anzahl Punkte, an welchen Arbeitskräfte von bestimmten Werthen verbraucht werden und von einem Centralpunkte aus die nöthige Arbeitskraft erhalten sollen.

Man nehme nun an, dass man eine Anzahl Maschinen-Gruppen habe, die sämmtlich hintereinander,

während die einzelnen Maschinen jeder Gruppe parallel geschaltet sind.

Alsdann betrachtet man zunächst jede Gruppe wie eine einzelne Maschine, bestimmt die Wärme F im Eisenkerne und in den Drähten, indem man die in den einzelnen Maschinen auftretende Wärme addirt und so den ganzen als Wärme auftretenden Energieverlust findet. Dann addirt man die als Wärme auftretende Energie zu der in der Gruppe in Arbeit umzuwandelnden Energie und erhält so die ganze Energie, die der Strom an diese Gruppe zu liefern hat.

Hat man die für eine jede Gruppe gewünschte Quantität von Energie gefunden, so addirt man diese Quantitäten, denkt sich dieselben an einem Punkte concentrirt, und addirt ferner alle Stücke der Hauptleitung; alsdann ist die Aufgabe keine andere als diejenige einer einfachen Kraftübertragung, und man kann in gewöhnlicher Weise die Schaltung und Wirkung der primären Maschinen, den Widerstand der Leitung, die Stromstärke und die elektrische Arbeitskraft bestimmen, welche jede Gruppe zu erhalten hat.

Um die Wickelungen der Maschinen für diejenigen jeder einzelnen Gruppe zu berechnen, braucht man nur zu berücksichtigen, dass für alle Maschinen, welche zu dieser Gruppe gehören, bei irgend einer Wickelung und den Maximal-Umdrehungen Stromstärke, Widerstand und elektromotorische Kraft, ausser den schon in Rechnung gezogenen Wärmemengen bekannt sind.

Es ist also nur nöthig, die Grösse p zu bestimmen, welche das Verhältniss des Querschnittes des Drahtes

der bekannten Wickelung zu demjenigen des Drahtes der gesuchten Wickelung bedeutet.

Nun muss die Potential-Differenz an den Enden jeder eine Maschine enthaltenden Derivation gleich E, der Potential-Differenz der ganzen Gruppe sein, d. h. für jede Maschine

$$E = e + i w,$$

wenn e i und w die bekannte Bedeutung für diese Maschine bei der gesuchten Wickelung haben.

Wenn e' i' w' die beziehungsweisen Grössen bei der bekannten Wickelung bedeuten, so ist

$$e = p\,e'; \quad i = \frac{I}{p}\,i', \quad w = p^2 w',$$

man hat daher für jede einzelne Maschine

$$E = p\,(e' + i' w'),$$

woraus folgt

$$p = \frac{E}{e' + i' w},$$

d. h. p ist gleich dem Verhältnisse der geforderten Polspannung E zu der bei der bekannten Wickelung beobachteten Polspannung

$$e' + i' w'.$$

Die in dem oben Gesagten, von Herrn Dr. Fröhlich vorgeschlagene Berechnung der Stromtheilung ist nun eigentlich weiter nichts als eine Transformation des Stromes durch verschiedenartige Schaltung, und um durch das Ausschalten und Einschalten der einzelnen Gruppen von Maschinen keine Aenderungen im Stromkreise hervorzubringen, bedarf es der Berücksichtigung noch vieler Punkte, die in der Praxis grosse Schwierigkeiten bieten. Ausserdem kann die obige Art der Calculation, wie der Verfasser selbst eingesteht, nur Re-

sultate geben, die noch bedeutender Correcturen bei der praktischen Anwendung bedürfen.

Aber selbst angenommen, dass die theoretischen Resultate mit geringer Mühe den praktischen angepasst werden könnten, so ist unserer Ansicht nach die vollständige Ausnützung der einzelnen Maschinen durchaus kein absolutes Bedürfniss und der durch diese Ausnützung gewonnene Vortheil wird in der Praxis wahrscheinlich von dem Nachtheil überwogen werden, den die complicirte Schaltung in den einzelnen Fällen hervorbringt.

Uns ist wahrscheinlich, dass das Deprez'sche System trotz der verhältnissmässig geringen Ausnützung der Motoren, sich dennoch als das ökonomischste aller bisher erfundenen Kraftübertragungs- und Stromtheilungs-Systeme in der Praxis erweisen wird, da ein geringer Procentsatz der Ausnützung einer grossen Maschine stets ökonomischer ist, als die vollständige Ausnutzung von kleinen miteinander verbundenen Maschinen, nicht nur was die Kosten der Erzeugung der Energie, sondern auch was die Installationskosten anbetrifft.

IX.

Transformatoren und Accumulatoren.

Obgleich das Deprez'sche Stromtheilungssystem für die meisten Fälle der Praxis allem Anscheine nach zweckentsprechend ist, wird es dennoch mit der Zeit wohl noch manche Modificationen erfahren, sobald es eine ausgedehntere Anwendung gefunden hat.

Es dürfte daher gut sein, hier noch einige andere Methoden anzugeben, welche es ermöglichen, die durch die Leitungsdrähte gesandte Energie ei an der Stelle zu reguliren, wo man sie gebraucht und e und i nach Belieben zu ändern.

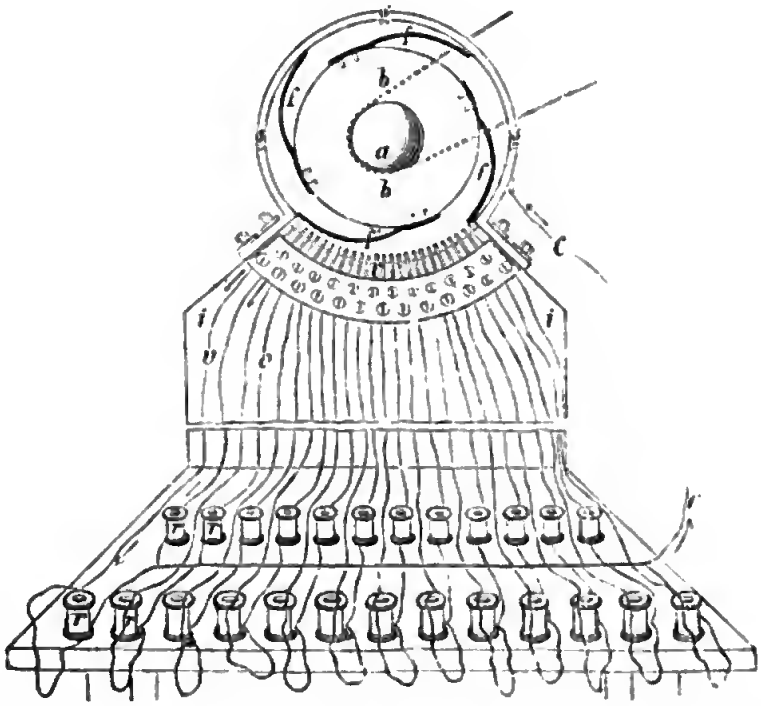
Zu diesem Zwecke kann man sich der sogenannten Transformatoren bedienen, mit denen sich die übermittelte Energie in dem jedesmal gewünschten Masse reguliren lässt.

Ein solcher Transformator ist zum Beispiel der Ruhmkorff'sche Inductor, in welchem man dadurch, dass man einen Strom von grosser Intensität durch den dicken Draht sendet, in dem feinen Draht einen Strom von geringerer Intensität aber höherer Spannung erzeugt. —

Bei dem Inductionsapparat von Theodor Kaufmann in Berlin werden die Oeffnungs- und Schliessungsströme in den secundären Spiralen nicht wie bisher dadurch erzeugt, dass man den Strom der primären

Spirale für eine möglichst kurze Zeit schliesst und dann für eine relativ längere Zeit unterbricht, sondern der erregende Strom wird in rascher Aufeinanderfolge den primären Spulen mehrerer Inductoren nach einander zugeführt, deren secundäre Ströme in beliebiger Weise verwendet werden können. Wie Fig. 29 zeigt, ist der Leitungsdraht *C* eines continuirlichen elektrischen

Fig. 29.



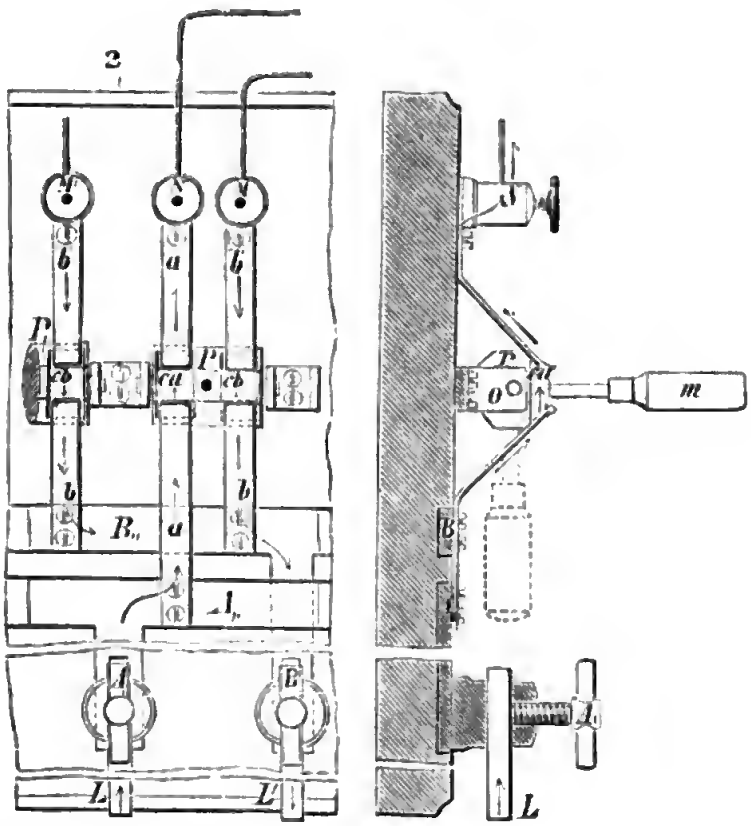
Stromes mit einem metallenen, bei *r* geöffneten Ring *g* leitend verbunden, gegen dessen innere Fläche vier gleiche, in gleichen Abständen von einander stehende Metallfedern *f* schleifen, welche auf einer Metallscheibe *b* leitend befestigt sind. Diese Scheibe sitzt fest isolirt auf einer durch beliebige mechanische Vorrichtung in schnelle Drehung zu versetzenden Axe *a*. In die offene Stelle des Ringes *g* sind Vertheilungsdrähte *v* so ein-

gesetzt, dass sie mit ihren gleichen, nach der Innenseite des Ringes abgeschliffenen Endstücken radial zu diesem Kreise in gleichen Entfernungen stehen. Die Endstücke sind durch Klemmschrauben mit den Vertheilungsdrähten verbunden und nebst dem Ring unverschiebbar auf einem isolirenden Körper *i* befestigt. Jeder Vertheilungsdraht ist nun als inducirende Spirale in eine Inductionsrolle *r* geführt, das austretende Ende aber mit der zum Elektromotor zurückführenden Hauptleitung verbunden. —

Das Doppelunterbrechungs-System für die Schaltung vieler Receptoren an dieselbe Stromquelle von A. Gravier in Warschau beruht auf den in früheren Kapiteln erwähnten Gesetzen von Ohm & Joule, nach welchen durch einen bestimmten Querschnitt der Leitung nur ein bestimmtes Quantum Elektricität zu übertragen möglich ist. Dieses Verfahren ermöglicht es, für einen continuirlichen Strom eine beliebige Anzahl Receptoren nach Belieben ein- bezw. ausschalten zu können, ohne die Function der anderen unterbrechen zu müssen. Die Doppelunterbrecher, von denen für jede Verbrauchsstelle (Lampe oder dergl.) einer vorhanden ist, haben folgende Construction. Die von den Polen der Elektricitätsquelle kommenden Leitungsdrähte *L* und *L*, (Fig. 30) stehen durch Klemmschrauben *A*, und *B*, mit Leitungsschienen $A_{,,}$ und $B_{,,}$ in Verbindung, an welchen für jeden Verbrauchs-Stromkreis je zwei Contactfedern *a* und *b* befestigt sind. Diesen gegenüber stehen ebensolche Contactfedern *a'* und *b'*, welche durch Klemmschrauben *N* und *M* mit den Leitungsdrähten des Verbrauchs-Stromkreises in Ver-

bindung stehen. Diese Contactfedern $a\ a'$ und $b\ b'$ liegen auf einem um O mittelst Handgriffes m drehbaren Prisma P aus Ebonit oder dergl. auf, welches zwei Contactstücke c_a und c_b aus Messing trägt. Diese sind so gross, dass der Funke nicht zwischen den Contact-

Fig. 30.



federn überspringen kann. Wird dem Prisma P eine, Viertelsumdrehung nach der einen oder anderen Richtung gegeben, so wird der betreffende Verbrauchs-Stromkreis vollständig ausgeschaltet.

Bei dieser Vorrichtung ist nur eine Art der Vertheilung der Elektricität in Betracht gezogen worden, bei welcher ein Theil der Leitung als Conductor

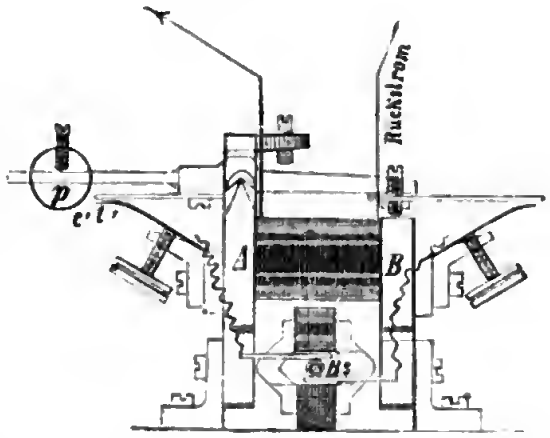
(Reservoir) functionirt und stets bei gleicher Intensität des elektrischen Stromes die verschiedenen Receptoren speist. Wenn nun die Anzahl der Receptoren im Verhältniss zur Stromerzeugung sehr gross ist, so wird an den von der Stromquelle entfernten Stellen die Leitung nicht mehr als Conductor wirken und den an sie gestellten Anforderungen bezüglich der Intensität des Stromes nicht mehr genügen können. Es werden sich vielmehr die entfernteren Punkte der Leitung als die schwächsten herausstellen und diesen muss von der Anstalt aus directer Strom zugeführt werden, was sich durch Hand oder auf automatischem Wege erreichen lässt. Um nun über den Zustand der durch die Praxis als schwächste Punkte erkannten Stellen stets informirt zu sein, wird ein Theil des Stromes an diesen Stellen abgezweigt und als »Rückstrom« durch eine besondere »Rückleitung« zur Anstalt geführt. Nach den Angaben dieses Rückstromes, in welchen ein Galvanometer eingeschaltet ist, wird die elektromotorische Kraft der Anstalt mit Hilfe eines automatischen Regulators regulirt.

Derselbe besteht aus einem Elektromagneten *A B* (Fig. 31), welcher mit feinem Draht umwickelt ist, einer horizontalen schwingenden Armatur des Elektromagneten, welche in der Art eines Wagebalkens disponirt ist und auf einer eisernen Schneide, der Verlängerung des Poles *A*, schwingt; dieselbe ist rechts und links mit Federn *c c*, versehen, welche mit anderen Federn *t t*, in Contact stehen und hierdurch den Durchgang des Localstromes durch den Inductions-Cylinder *B s* in der einen oder anderen Richtung veranlassen.

Ein Gegengewicht p dient dazu, der auf experimentalem Wege bestimmten Wirkung des Rückstromes das Gleichgewicht zu halten.

Die rotirende Armatur $B\ s$ (Siemens' Inductions-Cylinder oder ein anderer), welche sich nach der Richtung des durch die Stärke beeinflussten Localstromes nach rechts oder links dreht, ist durch Schnecke oder Schneckenrad direct mit dem Ventil der Dampfmaschine, welche die elektrische Maschine treibt, in Verbindung gebracht und regelt hierdurch die Stärke des zu liefernden Stromes.

Fig. 31.



Ein anderer Transformator ist die rheostatische Maschine von Gaston Planté, welche mit Strömen von grosser Intensität geladen werden kann und Ströme von geringer Intensität, aber hoher Spannung erzeugt, und ferner gehören zu diesen Transformatoren alle Accumulatoren oder Secundär-Elemente, welche die Aufspeicherung von Elektricität und beliebige Verwendung an anderem Orte ermöglichen, wobei sie dann durch verschiedenartige Vereinigung zu Batterien Ströme von hoher Spannung oder Quantität liefern. Die Wichtigkeit einer solchen Vorrichtung für die Zwecke der elektrischen Kraftübertragung leuchtet ohne Weiteres ein und lässt es nothwendig erscheinen, den Leser mit den praktisch wichtigsten Formen derselben bekannt zu machen.

Die Accumulatoren beruhen auf der zuerst von Gautherot beobachteten Erscheinung, dass bei chemischen Zersetzungen durch Einwirkung des elektrischen Stromes die Elektroden einerseits reducirt, andererseits oxydirt werden und dass, sobald die galvanische Wirkung nicht mehr möglich ist, durch die chemische Rückwirkung ein zweiter, dem ersten entgegengesetzter Strom sich entwickelt. Stellt man dann eine Leitungsbrücke zwischen den beiden Leitungs-Drahttheilen her, welche das erzeugende Element mit dem Bleielement verbinden, so wird der neue Rückwirkungsstrom durch die Brücke in gleichem Sinne wie der erste Strom wirken. Trennt man nun das erzeugende Element ab, so geht der zweite Strom durch die Brücke und etwa darin eingeschaltete Apparate in derselben Richtung hin, in welcher der Strom des direct wirkenden Elementes auch gegangen war.

Das erste zu praktischer Verwendung benutzbare Secundär-Element wurde 1859 von Planté angefertigt und besteht aus 2 Streifen von Bleiblech, welche mit einer Zwischenlage von Kautschuk zu einer Spirale aufgerollt und in ein cylindrisches Gefäss mit verdünnter Schwefelsäure gesetzt werden. Wird nun jeder Bleistreifen mit einem Pol versehen und mit je einem Pol von zwei gekoppelten Bunsen'schen Elementen verbunden, so bildet sich an der Anode Bleisuperoxyd, während an der Kathode metallisches Blei niedergeschlagen wird. Ist die Wirkung des Stromes erschöpft, was man durch das Auftreten von Sauerstoffbläschen an der Anode erkennt, so entfernt man die Bunsen-Batterie und kann durch Verbindung der Pole des Planté'schen

Elementes dasselbe in Form eines kräftigen Polarisationsstromes wieder entladen. Planté entdeckte ferner, dass, wenn man ein solches secundäres Element aus Bleiplatten recht lange und wiederholt ladet und entladet, seine Wirkung immer besser wurde. Das heisst, es gelangte immer mehr zu der Fähigkeit, grosse Mengen Elektricität in sich aufzustapeln. Dieser Umstand lässt sich daraus erklären, dass sich immer dichtere Schichten von Bleioxyd mit Bleisuperoxyd bildeten. Dies veranlasste Faure, das Bedecken der Bleiplatten mit Bleisuperoxyd von vornherein vorzunehmen, d. h. er bestrich sie mit Mennige. Um diese zu befestigen, wurde sie mit einer Schicht leichten Gewebes umgeben und damit die wirksamen Platten hergestellt. Es werden also Bleiplatten mit Mennige bestrichen, mit Musselin umgeben und, zu grossen Rollen aufgerollt, in Gefässe mit verdünnter Schwefelsäure gestellt.

Beim Durchleiten eines elektrischen Stromes durch dies Element, bildet sich nun zuerst an der äussersten Mennigeschicht eine sehr dünne Lage Bleisuperoxyd und schwefelsaures Blei, die alsdann einerseits zu Blei reducirt wird, während andererseits reines Bleisuperoxyd entsteht. Derselbe Vorgang findet dann in den tiefer liegenden Schichten der Mennige statt, bis die letztere sich auf der einen Seite in Superoxyd verwandelt, auf der anderen zu Blei reducirt worden ist. Der Vorzug des Faure'schen Elementes besteht in der Hauptsache darin, dass es gleich nach der Anfertigung gebrauchsfertig ist, während das Planté'sche Element erst einer mühsamen und zeitraubenden »Formirung« durch wiederholtes Laden und Entladen bedarf. Dagegen hat sich

der anfänglich mit grossem Aufwand von Reclame ausposaunte Vorzug grösserer Leistungsfähigkeit bei gleichem Gewicht gegenüber den Planté'schen Elementen als, wenn überhaupt vorhanden, doch nur sehr unwesentlich erwiesen.

Der Werth einer Secundär-Batterie wird in erster Linie von folgenden Punkten abhängen. 1. Soll in derselben mit möglichst geringem Aufwand von Kraft, Zeit und Nebenkosten ein möglichst grosses Quantum Elektricität oder Energie aufgespeichert werden können, 2. soll die Secundär-Batterie auch während länger dauernder Aufbewahrung keinen Verlust an Energie erleiden und 3. im Verwendungsfalle die aufgespeicherte Energie möglichst vollständig und in regulirbarer Stromstärke wieder abgeben. Ueber diese Punkte hat im Januar 1882 eine Commission von Fachleuten mit 35 Faure'schen Elementen im »Conservatoire des Arts et Métiers« zu Paris umfassende Versuche angestellt, deren Resultate wir wie folgt zusammenfassen:

Das Laden der Batterie wurde in 4 Tagen vorgenommen und erforderte im Ganzen $22^3/_4$ Stunden; die zum Laden benutzte Siemens'sche Maschine machte zwischen 1072 und 1085 Touren in der Minute. Der Widerstand des Ankers betrug 0·27 Ohm, der des durch eine Ableitung von der Maschine selbst inducirten Elektromagnets 19·45 Ohms. Nach den Messungen mit Easton und Anderson's Dynamometer-Totalisateur wurden im Ganzen 9,569.798 Kg.-Mtr. mechanischer Arbeit aufgewendet. Dieser Ziffer kommt die auf theoretischem Wege berechnete Summe der verschiedenen elektrischen Arbeiten mit 9,349·250 Kg.-Mtr. bis auf

2% nahe. Von der letzteren entfällt auf die Arbeit im Anker 269.800, auf die Arbeit bei der Erregung 1,883.600 und auf den Verlust in der Transmission 808.750 Kg.Mtr., so dass auf die Ladung der Elemente im Ganzen 6,382.100 Kg.-Mtr. verwendet worden sind.

Das Entladen der inclusive Flüssigkeit je 43·7 Kg. wiegenden 33 Elemente,*) deren Bleielektroden per Quadratmeter mit ungefähr 1 Kg. Mennige bedeckt waren, erforderte im Ganzen 10 Stunden und 39 Minuten, und diente der Strom zum Betriebe von 11 Maxim-Lampen. Das Resultat war, dass von 694.500 Coulombs Elektricität, welche die Batterie beim Laden aufgenommen hatte, 619.600, also nahezu 90% wieder abgegeben, dass dagegen von der aufgespeicherten Arbeit nur 60% und von der ganzen überhaupt aufgewendeten Arbeit nur 40% mit im Ganzen 3,809.000 Kg.-Mtr. wieder verwendet wurden. Der Gebrauch des Accumulators hat also 40% der von der dynamoelektrischen Maschine gelieferten Arbeit gekostet, oder mit anderen Worten: 40% der elektrischen Arbeit, welche ohne diesen Vermittler zur freien Verfügung gestanden hätten, und es ist kaum zu bezweifeln, dass das Resultat für jede andere Verwendung des elektrischen Stromes, insbesondere für die Kraftübertragung, genau dasselbe gewesen wäre, wie es hier für den Betrieb der Maxim-Lampen ermittelt wurde. Berücksichtigt man aber, dass die Secundär-Batterien die Verwendung von elektrischer Kraft von den elektrischen Stromerzeugungs-Maschinen und ihren unvermeidlichen Schwankungen unabhängig

*) Der Versuch begann mit 30 Elementen und die anderen wurden erst später und auch nur theilweise zugenommen.

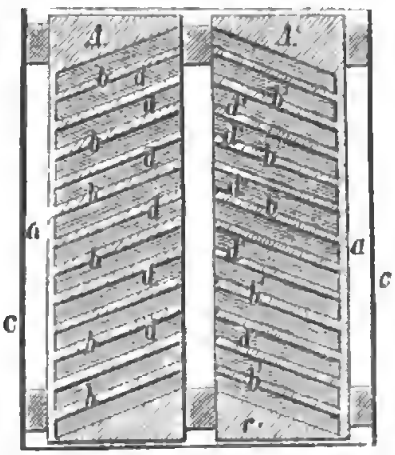
machen, so wird der grosse Werth solcher Elektricitäts-Reservoirs für alle Fälle, in denen ein constanter Strom verlangt wird, sofort ins Auge springen. Aber auch, wenn lebendige Kraft und in Folge dessen die Erzeugung des elektrischen Stromes billig ist, die Kraft aber nur zeitweise Verwendung finden kann, wird man sich heute schon vortheilhaft der Accumulatoren bedienen können. Endlich aber steht zu erwarten, dass man im Laufe der Zeit bessere Secundär-Batterien herzustellen im Stande sein wird, welche mit einem weit geringeren Kraftverlust angewandt werden können.

Da die Aufspeicherungsfähigkeit eines Accumulators nicht so sehr durch eine gewichtige Beschickung als vielmehr durch eine möglichst grosse wirksame Oberfläche der Elektroden bestimmt wird, bemühen sich viele neuere Constructionen, den letzteren bei möglichst geringem Gewicht die erreichbar grösste Oberfläche zu geben. So wird bei dem Accumulator von Kabath eine grosse Zahl dünner Bleistreifen abwechselnd glatt und gewellt übereinander geschichtet und in einen durchlöcherten Bleimantel eingeschlossen. Eine solche Elektrode ist 80—90 Mm. breit, schliesst 80—100 Blättchen ein und ist mit einem starken Bleidraht ausgerüstet, der mit den Klemmen in Verbindung steht. Zwölf solcher flachen Elektroden werden zu einem Element vereinigt; dazu kommt noch an jeder Seite eine Elektrode aus massivem Blei im Interesse der Stabilität. Unten und oben sind die Elektroden an einer Platte mit einem Kitt aus Kolophonium oder Paraffin befestigt und das Ganze steht in einem wasserdichten, mit verdünnter Säure angefüllten Kasten. Das für indu-

strielle Zwecke bestimmte Modell kann mittelst Handgriffen leicht transportirt werden und enthält Elektroden von 400 Mm. Länge und 10 Mm. Dicke. Der Accumulator wiegt im Kasten 30 Kg. und mit Flüssigkeit 35 Kg. — Für feste Anlagen eignet sich besonders auch eine horizontale Modification. Ueber die Leistungsfähigkeit ist bisher noch nichts bekannt geworden.

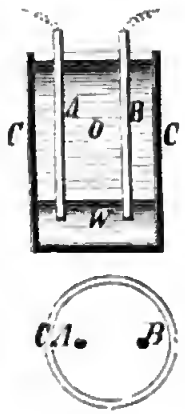
Demselben Princip verdankt das in Fig. 32 dargestellte Element der Société universelle d'Electricité, Tommasi in Paris, seine Entstehung. An einer Bleiplatte von ungefähr 2 Mm. Stärke und der angemessenen Höhe und Länge befinden sich unter einem Winkel von 30—40° Scheidewände *b b* von derselben oder beiläufig gleichen Stärke angegossen; es bildet demnach die Platte *a* mit den Scheidewänden *b'* ein mit mehrfach übereinanderliegenden Abtheilungen versehenes Ganzes von ungefähr 35 Mm. Tiefe. Zwei solcher gleicher, etagenartig zusammengefügter Körper *A* und *A'* sind sich gegenüber angeordnet und durch Klötze, die sie etwa bei 10 Mm. von einander entfernt halten, getrennt; sie sind in einem Gehäuse von gehärtetem Kautschuk *c* aufgestellt. Die hohlen Zwischenräume zwischen den Scheidewänden sind mit gewalzten Bleifolien *d d* von ungefähr 0·1 Mm. Stärke ausgefüllt. Das Gehäuse *c* ist mit verdünnter Schwefelsäure (1 : 10 Wasser) angefüllt, und im Uebrigen wird das Element genau wie ein

Fig. 32.



gewöhnliches von Planté geladen. Ganz speciell für Zwecke der Kraftübertragung und zwar für elektrischen Schiffsbetrieb sind die Accumulatoren von Sellon-Volkmar eingerichtet, welche, wie wir weiter unten sehen werden, von der »Elektric Power Storage Company« zu Millwall in London auch wirklich schon praktisch zum Betriebe des elektrischen Bootes »Elektricity« verwendet worden sind. Die Elemente enthalten je 40 präparirte Elektrodenplatten und wiegen 40 Pfund pro Stück; die Zellen sind 10 Zoll im Quadrat und 8 Zoll hoch. —

Fig. 3.



Nach einem ganz anderen Princip sind die in Fig. 33 dargestellten Batterien der Société générale d'Electricité (Procédés Jablochkoff) eingerichtet. Während nämlich bei den bisher betrachteten und den meisten der sonst bekannt gewordenen Constructionen die Elektroden mit einem porösen oder schwammigen Ueberzug von Metalloxyden versehen werden, sind bei den vorliegenden Batterien Elektroden mit polirter Oberfläche benutzt. Die Polarisations-Fähigkeit derselben wird dadurch erhöht, dass sie von einer Schicht öliger, fetter oder harziger Körper umgeben sind. Als solche Körper werden namentlich Kohlenwasserstoff-Oele bezeichnet. Zwei Elektroden *A* und *B* (Fig. 33) aus spiralförmig aufgewundenen Platten von polirtem Metall, z. B. Silber, stehen in einem Gefäss *C* und tauchen theilweise in Wasser *W*, zum grössten Theil aber in Oel ein. Ueber den Modus der Anwendung und die Leistungsfähigkeit dieser Accumulatoren ist bisher noch nichts bekannt geworden.

Von grossem Interesse war auch die Abtheilung der diesjährigen elektrischen Ausstellung im Glaspalast zu München, welche die Accumulatoren, Secundär- oder Polarisations-Batterien umfasste. Zunächst war Gaston Planté, der Pionnier dieses aussichtsvollen Zweiges der Elektrotechnik vertreten, unter Anderem auch durch ein nach Faure's erster Construction ausgeführtes Modell mit doppelter Bleiblechspirale und nur papierdicker Mennigeschicht, die von Flanell gehalten wird; ferner zeigte er eine positive Bleiplatte mit braunschwarzem Bleisuperoxyd, und eine negative mit metallischem zarten Bleischwamme bedeckt, desgleichen eine Platinelektrode, welche mit elektrolytischem Kupferbeschlage eines nur 1·5 Kg. schweren Accumulators versehen ist, woraus Planté die Leistungsfähigkeit dieser Batterie nach absolutem Masse berechnet. — Eine neue kleine Secundär-Batterie von sehr kräftiger Wirkung stellte Dr. E. Böttcher, Oberstabsarzt in Leipzig, aus. Dieselbe ist construirt aus Zink- und Bleiplatten, welche durch Pergamentpapier getrennt sind; derartige Elemente oder Plattenpaare stehen je 12 in kleinen viereckigen, etwa 2 Ltr. fassenden sauberen Hartgummi-Kästchen; je drei solcher Kasten sind wieder zu einer kleinen Batterie vereinigt. Drei Batterien waren ausgestellt. Die Fläche der Platten war etwa 1 Qu.-Dmtr. Zwei Batterien waren combinirt im Stande, in Händen des persönlich anwesenden Herrn Dr. Böttcher eine Jablochkoff'sche Kerze am Tage mit strahlendem Lichte zu versehen. Als leitende und chemisch wirksame Flüssigkeit dient Schwefelsäure, welche mit Zinksulfat versetzt wird, das öfters erneuert werden muss. Die

Batterie wird, wie die Planté'schen, mit primärem Strome geladen und behält einige Stunden eine kräftige secundäre Wirksamkeit. Nach Angabe des Erfinders zersetzt sich das Bleisuperoxyd in dieser Combination sehr schnell, und falls die geladene Batterie eine Nacht gestanden hat, ist wenigstens alle secundäre Wirkung verschwunden. —

Das grösste Interesse aber erregten die Accumulatoren des früheren Reichstelegraphen-Secretairs O. Schulze in Strassburg; dieselben bestehen aus einer Combination von 30 Zellen à 30 präparirte Bleiplatten mit verdünnter Schwefelsäure. Das Präpariren der Platten soll, nach Angabe des Vertreters, mit Schwefel geschehen — Planté benutzt jetzt 24—48-stündige Behandlung mit Salpetersäure — und nur 16 Stunden dauern. Die Batterie diente zur Beleuchtung eines Lusters mit 6 Glühlichtern. Die Plattengrösse war 200×100 Mm., Dicke der Platten etwa 1.25 Mm.; an der einen Ecke diente ein überstehender kurzer Bleistreifen als Polverbindung. Die Platten 1, 3, 5, 7 etc. waren mit dem positiven, 2, 4, 6, 8 mit dem negativen Pole verbunden. Ein Abstand der Platten von etwa 0.5—0.7 Mm. wurde gesichert durch Einlassen der Platten in eingekerbte Hartgummi-Streifen. Solche Combination von 30 Platten bildet ein festes System, das mit der Hand in die Zelle getaucht und herausgehoben werden kann. Als Zellen dienten viereckige Holzkasten, die mit einem Bleikasten ausgefüttert und etwa doppelt so hoch als breit waren. Auch eine Glaszelle war vorhanden. Die Form der Apparate ist klein und handlich, dabei sollen dieselben aber ausserordentlich leistungsfähig sein. Wie auf der

Ausstellung selbst demonstrirt wurde, ist eine Zelle im Stande, einen von + Pol zu — Pol gelegten starken Kupferdraht — von 3 Mm. Durchmesser — sofort ins Glühen und auch zum Schmelzen zu bringen. Danach erscheint es glaublich, dass die in Paris abgehaltene Prüfung einer grösseren Planté-Faure'schen Secundär-Batterie eine Kraft von 6,900.000 Kg.-Mtr. aufgenommen hatte, wovon 60% — hier einstweilen 50% — wieder ausgegeben wurden. Dabei sind physiologische Wirkungen beim Berühren beider Pole mit der Hand nicht zu bemerken. —

Alle diese Vorrichtungen jedoch, obgleich sie für Stromtheilung von der höchsten Wichtigkeit zu werden versprechen, haben den grossen Fehler, dass in ihnen mehr oder weniger Energie verloren geht, da der Strom, ehe er in die verschiedenen Apparate gelangt, Extrawiderstände zu besiegen hat.

Eine Methode, den Verlust, der bei der Transformation des Stromes auftritt, zu reduciren, wurde von Cabanellas vorgeschlagen.

Wenn man durch Einschaltung einer zweiten Maschine den Strom der Primärmaschine transformiren würde, ehe er zu der arbeitsleistenden dritten Maschine gelangt, so würde man das Ziel ebenfalls erreichen. Dieses ist die Idee von Cabanellas. Anstatt eine Intermediär-Maschine einzuschalten, leitet er den Strom einer Gramme'schen Maschine zuerst durch einen zweiten auf derselben Axe befestigten Ring, ehe er ihn zu den Endmotoren führt.

Der Energieverlust bei dieser Art der Transformation ist jedoch für die Praxis immer noch viel zu

gross, da er über 50% beträgt. Vermindert wird derselbe ein wenig durch die neueste Modification der Cabanellas'schen Transformations-Methode.

Bei dieser Modification werden nämlich nicht zwei Ringe angewendet, sondern der Ringinductor hat nur eine doppelte Wickelung und rotirt nicht, sondern steht fest.

Die innere Wickelung steht vermittelst ihrer ableitenden Bürsten mit dem Leitungssysteme in Verbindung, während die äussere Wickelung mit der Derivation in Verbindung steht, der man einen Strom von gewünschter Stärke und elektromotorischer Kraft zuzuführen wünscht. Anstatt nun den Ring drehen zu lassen, steht derselbe, wie gesagt, fest, und die Bürsten rotiren um den Collector der inneren Windung, wodurch in der äusseren Windung eine Serie von alternirenden Strömen inducirt wird, die in geeigneter Weise in continuirliche Ströme verwandelt und dazu angewendet werden können, die Derivation zu speisen. Die Natur dieser Ströme hängt von der Dicke des gewählten Drahtes, der Schnelligkeit der Rotation und der Energie in der Hauptleitung ab, man kann dieselben also sehr bequem reguliren. Die Betriebskraft für diese Intermediär-Apparate ist dadurch, dass nur die Bürsten rotiren, sehr verringert, und wird von einem von der Hauptleitung abgezweigten Strome geliefert.

Diese Art der Modification des Hauptstromes ist allerdings viel vortheilhafter als die frühere, jedoch auch hierbei ist der Energieverlust immer noch sehr bedeutend und wird die Anwendung der Cabanellas'schen Methode sich wohl nur unter ganz bestimmten Verhältnissen bewähren.

Der Transformations- und Regulations-Systeme sind in der neuesten Zeit so viele patentirt worden, dass es unmöglich ist, dieselben hier alle aufzuzählen, ohne dieses Handbuch zu einer Geschichte der Kraftübertragungs-Systeme zu machen, was durchaus nicht der Zweck desselben ist. Das Vorhergesagte wird für den Fachmann vollkommen genügen, um zu erkennen, auf welchem Stadium die Theorie der Kraftübertragung gegenwärtig steht, und welche Punkte für die Praxis von Bedeutung sind. Die Ausarbeitung der einzelnen Theile der Kraftübertragungs-Methoden wird durch die Erfahrungen der Zukunft bestimmt werden, und ehe die elektrische Kraftübertragung im grösseren Massstabe in der Praxis Eingang gefunden hat, werden sich allgemeine zuverlässige Beweise für die Vorzüge dieses oder jenes Systemes nicht finden lassen. Man kann eben nur im Allgemeinen über die relativen eventuellen Vortheile der verschiedenen Methoden urtheilen, und in dieser Hinsicht scheint das Deprez'sche Derivations-System mit seiner einfachen Regulations-Methode den Vorzug zu verdienen.

X.

Mittel zur Verringerung der Energieverluste bei der elektrischen Kraftübertragung.

Im Vorhergehenden haben wir gesehen, auf welche Weise sich die Probleme der Kraftübertragung, Stromtheilung und Stromregulation lösen lassen, wir haben aber auch zugleich erkannt, dass in der Praxis der Energieverlust, welcher bei der Kraftübertragung und Stromtheilung auftritt, immer noch ein sehr bedeutender ist, und es fragt sich nun, auf welche Weise kann man diesen Verlust möglichst vermeiden.

Um diese Frage zu beantworten, muss man bedenken, dass die Verluste hauptsächlich an drei Stellen stattfinden, nämlich:

1. An der Stelle, wo die zu übertragende Kraft auf die elektrischen Maschinen übermittelt wird,
2. in den elektrischen Maschinen selbst,
3. in den Leitungsdrähten.

Wir hätten also der Reihe nach zu untersuchen, welche Mittel am geeignetsten sind, die Verluste an jedem dieser drei Orte zu verringern.

Der Verlust, welcher bei der Kraftübertragung auf den elektrischen Primärmotor stattfindet, kann seine Ursache in zwei Gründen haben, entweder in einer unzweckmässigen Construction der Turbine, des Dampf-, Gas-, hydraulischen Motors u. s. w. (denn, wie wir an einer früheren Stelle dieses Buches auseinander gesetzt haben,

Digitized by Google

nicht ein jeder Motor, mag er noch so geeignet für andere Zwecke sein, ist passend zu einer Verbindung mit einem elektrischen Motor), oder die Verbindung zwischen dem Betriebs- und dem elektrischen Motor ist mangelhaft.

Unter allen Motoren sind, wie wir dies ebenfalls früher schon eingehend erläutert haben, zum Betriebe von elektrischen Motoren die Dampfmaschinen unzweifelhaft die besten; denn die Rotation der elektrischen Maschinen muss eine sehr gleichmässige sein, da jede Aenderung in der Rotations-Geschwindigkeit eine entsprechende Aenderung des Stromes veranlasst, und um diese gleichmässige Rotation hervorzurufen, muss die Betriebsmaschine selbst sehr gleichmässig arbeiten. Da es aber nach dem in der Einleitung Gesagten sehr häufig Zweck der elektrischen Kraftübertragung sein wird, vorhandene Wasserkräfte auszunützen, so wird man auch auf die Verwendung von Wassermotoren, insbesondere Turbinen, geeignete Rücksicht nehmen müssen. Endlich wird man innerhalb der Städte vielfach, der grossen Bequemlichkeit halber, Gaskraft-Maschinen als Motoren aufstellen.

Um den Verlust, der in den elektrischen Motoren selbst auftritt, zu verringern, muss zunächst die Construction derselben auf rationelle Weise verbessert werden; da wir aber in vorliegendem Werke das sehr ausgedehnte Gebiet der Construction elektrischer Maschinen und ihrer einzelnen Bestandtheile gar nicht berücksichtigt haben, so können wir auch nicht detaillirter auf die Mittel und Wege zu ihrer Verbesserung eingehen, sondern müssen uns auf wenige kurze Andeutungen beschränken.

Die Verluste von Kraft in den elektrischen Maschinen werden hauptsächlich veranlasst durch die Umsetzung von Energie in Wärme in den Eisentheilen der Maschine, und durch Funkenbildung zwischen den Commutatoren, resp. Collectoren und Bürsten.

Um die erste Ursache aufzuheben, sollten keine Eisenmassen oder überhaupt keine soliden Metallmassen sich in den magnetischen Feldern bewegen. Die Siemens'sche Maschine für Wechselströme und seine neueste Maschine für continuirliche Ströme geben in dieser Hinsicht ein gutes Beispiel. — Um die Funkenbildung zu vermeiden, muss die Maschine so construirt sein, dass der Strom nicht durch Drahttheile zu passiren hat, die der inducirenden Wirkung der Magnete nicht ausgesetzt sind. Vernachlässigt ist diese Regel in den früheren Gramme'schen Maschinen, und gut beachtet ist sie in den Brush'schen Maschinen, in welch' letzteren die nicht inducirten Theile der Armatur durch die Bewegung der Maschine selbst automatisch ausgeschaltet werden.

Ferner muss die Bürstenstellung immer so regulirt werden, dass die Bürsten sich stets in den neutralen Punkten befinden, und ausserdem ist eine Verminderung der Oberfläche der reibenden Theile, wie sie von Professor Perry in England empfohlen wird, sehr zweckmässig.

Vor allen Dingen jedoch ist der so oft erwähnte Punkt zu berücksichtigen, dass man, für die Kraftübertragung besonders, grosse Maschinen construiren sollte. Alle bisher in der Praxis gemachten Erfahrungen haben gezeigt, dass Maschinen von grossen Dimensionen weit

Digitized by Google

ökonomischer arbeiten, als kleine, und überall in der Technik zeigt sich die Concentrirung der Kraft an einem Punkte, von welchem aus sie dann vertheilt werden kann, weit vortheilhafter als die Loco-Production kleiner Mengen von Energie.

Neuen Beweis für die Leistungsfähigkeit grosser Maschinen liefert eine Maschine des bekannten englischen Physikers G. E. H. Gordon, welche alle bisher construirten Maschinen an Grösse übertrifft und nach der Angabe des »Electrician« (Vol. IX, n. 24) 94 Percent der aufgewendeten Betriebskraft in Strom umsetzt.

Das Totalgewicht dieser Maschine, welche hauptsächlich für die Incandescenz-Beleuchtung bestimmt ist, beträgt nahezu 18 Tonnen. Die Armatur steht fest und die inducirenden Magnete rotiren. Das Gewicht der rotirenden Magnete beträgt 7 Tonnen. Der Durchmesser der Scheibe, an welcher die Magnete befestigt sind, ist 8 Fuss 9 Zoll (englisch).

Eine genaue Beschreibung der Maschine würde hier nicht am Platze sein, da die Construction der Gordon'schen Maschine nicht zur Kraftübertragung geeignet ist; dennoch haben wir dieselbe hier erwähnt, weil die Anfertigung einer solchen gerade so wie die der Edison'schen Maschine, Schritte in der rechten Richtung sind, wie die günstigen Resultate der wiedergewonnenen Arbeitskraft beweisen, und besonders für die Uebertragung der Kraft auf grosse Distanzen werden in Zukunft Maschinen angewendet werden müssen, deren Dimensionen die der gewöhnlichen elektrischen Maschinen bei Weitem übersteigen.

Wir kommen nun zu den Verlusten, die von den Leitungsdrähten abhängen und theilweise in unrichtig gewählter Drahtstärke, theils in der mangelhaften Leitungsfähigkeit des angewandten Metalles, theilweise endlich auch in der schlechten Isolation der Leitungen liegen. Ueber den für eine bestimmte Stromstärke am besten geeigneten Durchmesser des Leitungsdrahtes stellte Forbes nach der »Zeitschrift f. allg. Elektricitätslehre« Versuche an, indem er verschieden starke Drähte durch geeignete Ströme auf gegebene Temperatur erwärmte. Die Versuche trennten sich in zwei Gruppen, erstens in solche mit blankem Draht, welcher der Luftkühlung ausgesetzt war, und zweitens in Versuche mit Drahtspulen, wie sie bei Elektromagneten und Armaturen in Dynamomaschinen Verwendung finden.

1. Wird der Strom von constanter Stärke durch blanken Draht geleitet, bis die Temperatur constante Höhe erreicht hat, so ist die in einer gegebenen Drahtlänge erzeugte Wärmemenge gleich der durch Leitung und Strahlung abgegebenen Wärme. Wir scheinen hier daher zu der Annahme berechtigt, dass für gegebene Temperatur die Stromstärke der Drahtoberfläche und somit auch dem Drahtdurchmesser proportional ist. Bezeichnet C die Stromstärke, R den Widerstand der gegebenen Drahtlänge und D den Drahtdurchmesser, so ist nach Joule's Gesetz die Erwärmung proportional

$$C^2 R \text{ oder } \frac{C^2}{D^2}, \text{ daher:}$$

$$\frac{C^2}{D^2} = a D,$$

wo a eine Constante ist; oder: $C = a D^{\frac{3}{2}}$ . . . (1)

Zur Untersuchung der Richtigkeit dieses Satzes wurden drei Drähte von verschiedenem Durchmesser und gleicher specifischer Leitungsfähigkeit ausgewählt, auf jeden wurde etwas Bienenwachs geklebt, das bei einer Temperatur von 136° Fahr. schmilzt; die Temperatur der umgebenden Luft betrug 64° Fahr. Der Strom wurde nun durch einen der Drähte geleitet und in längeren Pausen, um stets die Maximalerwärmung zu erhalten, durch Ausschalten kleiner Widerstände so lange verstärkt, bis eine Stromstärke erreicht war, durch deren Erwärmung das Wachs eben flüssig wurde. Die Bestimmung der Stromstärke wurde mittelst eines Tangenten-Galvanometers vorgenommen. In gleicher Weise wurde mit den beiden anderen Drähten verfahren. Die Versuchsresultate sind aus folgender Tabelle ersichtlich. Ist $C = a D^{\frac{3}{2}}$, dann muss der Quotient $\frac{C}{D^{\frac{3}{2}}}$ für alle Drähte der gleiche sein. Ist dagegen, wie vielfach angenommen wird, $C = a D^2$, dann müsste der Quotient $\frac{C}{D^2}$ constant sein. Für $C = a D$ ergiebt sich $\frac{C}{D}$ als constant. Folgende Tabelle diene zur Vergleichung dieser Quotienten.

D Mm.	C	$\frac{C}{D}$	$\frac{C}{D^{\frac{3}{2}}}$	$\frac{C}{D^2}$
0·58	0·984	1·696	2·229	2·924
1·22	2·304	1·888	1·709	1·548
1·58	3·026	1·915	1·523	1·212

Die Versuche zeigten bestimmt, dass die einer bestimmten Erwärmung entsprechende Stromstärke nicht dem Drahtquerschnitt proportional ist, ebensowenig dem

auf die Potenz $\frac{3}{2}$ erhobenen Durchmesser, sondern dass die Proportionalität am meisten mit dem Drahtdurchmesser übereinstimmt. Später sollen diese Versuche mit Drähten von noch grösserer Differenz in den Durchmessern ausgeführt und veröffentlicht werden.

2. Nehmen wir zwei mit verschieden starkem Draht bewickelte Spulen von gleicher Grösse und gleichem Gewicht an; beide Spulen seien mit ziemlich grosser Windungszahl versehen. Sowohl die Länge als auch der Widerstand einer bestimmten Drahtlänge sind dem Quadrat des Drahtdurchmessers umgekehrt proportional, folglich ist der Totalwiderstand einer solchen Spule dem Quotienten $\frac{1}{D^4}$ und die in der Spule per Zeiteinheit erzeugte Wärmemenge dem Werthe $C^1 R$ oder $\frac{C^1}{D^4}$ proportional. Der Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung wird bei gleicher Oberfläche der Spulen für beide Spulen der gleiche sein. Daraus folgt:

$$\frac{C^1}{D^4} = a$$

$$C = a D^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Um diesen Satz experimentell zu beweisen, kamen zwei oben und unten mit Flantschen versehene Messingröhren zur Anwendung, deren eines Ende verschlossen war; dieselben wurden mit verschieden starkem Draht bewickelt, so dass beide gleiches Gewicht ergaben. Die Spulenröhren wurden mit Wasser gefüllt, in welches ein Thermometer tauchte, und dann die Stromstärke langsam gesteigert, bis eine constante und genügend hohe Temperatur erreicht war. Die Stromstärke wurde

mittelst des Temperatur-Galvanometers gemessen. In beiden Spulen wurde gleiche Wärme erzeugt. Die Versuche ergaben stets für den Quotienten Stromstärke, welche für die bestimmte Wärmeerzeugung nöthig war, getheilt durch das Quadrat des Drahtdurchmessers: eine Constante, womit die Richtigkeit von Formel (2) bewiesen war. —

Bei den Telegraphenlinien, wo es sich darum handelt, dauerhafte und zugleich billige Leitungsdrähte zu haben, wendet man gewöhnlich Eisendrähte an; früher gebrauchte man vorzüglich galvanisirte Eisendrähte von einem Durchmesser von 3 bis 4 Mm., heutzutage dagegen vergrössert man den Durchmesser und benützt einfache Eisendrähte. —

Für Kraftübertragung ist Eisen ein viel zu schlechter Leiter, und obgleich Deprez auf der diesjährigen Münchener Ausstellung zu seinem Experimente einen gewöhnlichen Telegraphendraht benützte, so geschah dieses mehr um die Möglichkeit der Benützung eines solchen Drahtes zu zeigen, als um Eisendrähte zur Kraftübertragung zu empfehlen.

Für Kraftübertragung grosser Energie-Mengen sollte man nur Kupferdrähte anwenden; denn obgleich dieselben viel theuerer sind, als Drähte von Eisen oder selbst Phosphorbronze, so wird doch durch ihre vorzügliche Leitungsfähigkeit und den dadurch verminderten Energieverlust bei Erwärmung der Nachtheil des hohen Preises mehr als ausgeglichen.

Jedoch muss sehr darauf gesehen werden, dass man nur ganz reines Kupfer verwendet, denn die geringsten Spuren von fremden Metallen vermindern die

Leitungsfähigkeit der Kupferdrähte bedeutend. Nach einer Mittheilung des Capitän Bucknill variirt der Widerstand des Kupfers je nach dem Fundort so bedeutend, dass zum Beispiel das Leitungsvermögen des Rio-Tinto-kupfers nur 14% desjenigen des reinen Kupfers beträgt.

Aus einer Mittheilung, welche Herr Professor Weilenmann an die »Zeitschrift für angewendete Elektricitätslehre« (Bd. IV., Nr. 13) sandte, lässt sich erkennen, welches Metall man zur Uebertragung von grossen Energie-Mengen wählen muss, wenn man wünscht, dass der jährliche Gesammtpreis des Energie-Verlustes und der Zins, sowie die Unterhaltungskosten ein Minimum wird.

Nennt man A den Querschnitt des Leiters, s den specifischen Widerstand, c die Stromstärke, p den Bruchtheil des Jahres, während welchen die Leitung benützt wird, E den Preis des Ergs*), $V=$ den Preis des Metalles per Kubikcmtr., so ergiebt sich mit Benützung der Thomson'schen Formel der Gesammtpreis, wie Professor Weilenmann zeigt, auf folgende Art:

Wenn man den Capitalzins zu Z% berechnet und

$$K = \frac{Z}{100} V$$

setzt, so ist der dadurch entstehende jährliche Energieverlust per Centimeter Länge $= KA$.

Hierzu muss man rechnen die Unterhaltungskosten, z. B. in Folge von Leitungs-Erneuerungen. Diese werden

*) Dyne wird in England die Krafteinheit genannt, welche in einer Secunde dem Gewichte von 1 Gramm eine Geschwindigkeit von 1 Centimeter per Secunde mittheilt. Ein Erg nennt man die Arbeit, welche von einem Dyne verrichtet wird, wenn es sich über eine Distanz von 1 Centimeter bewegt.

um so seltener sein, je grösser der Querschnitt A ist, und kann man nach Prof. Weilenmann die auf den laufenden Centimeter treffende jährliche Erneuerung dem Querschnitt umgekehrt proportional setzen.

Wenn man also q den bei einem Quadratcentimeter Querschnitt zu erneuernden Bruchtheil des Längencentimeters nennt, so wird beim Querschnitt A der Erneuerungsantheil $\frac{q}{A}$ Centimeter Länge, oder

$$\frac{q}{A} \cdot A = q^{cbcm.}$$

betragen.

Ist a der Preis des Kubikcentimeters Altmetall so sind die Erneuerungskosten per laufenden Centimeter

$$(V - a) \cdot q = e,$$

d. h. constant für dasselbe Metall.

Ausserdem ist der Preis des Energieverlustes im Jahre $\frac{31{\cdot}5 \cdot 10^6 \cdot p \cdot sc^2 E}{A}$.

Der Gesammtpreis des Verlustes ist demnach

$$G = KA + e + \frac{31{\cdot}5 \cdot 10^6 \cdot p \cdot s \cdot c^2 \cdot E}{A}.$$

Wird der Querschnitt A so gewählt, dass G für ein bestimmtes Metall ein Minimum wird, so folgt:

$$A = 1000\, c \sqrt{\frac{31{\cdot}5\, p\, s\, E}{k}}.$$

Setzt man den Werth für A ein, so ist

$$G = 2000\, c \sqrt{31{\cdot}5\, p\, (sk)\, E} + e.$$

Wenn es sich um den Transport grosser Energiemengen handelt, so werden die Erneuerungsanlagen einen nicht sehr bedeutenden Factor bilden und es wird

in diesen Fällen G ein Minimum, wenn (sk) den kleinsten Werth hat, d. h., da k dem Preise des Kubikcentimeters proportional ist, so muss man für Leitungen für die Uebertragungen grosser Mengen von Energie dasjenige Metall wählen, für welches das Product von specifischem Widerstand und Preis den geringsten Werth hat.

Setzt man $G = kA + e$

und wünscht man einen Draht zu wählen, der mit geringen Unterhaltungskosten einen möglichst geringen Preis per Kubikcentimeter verbindet und keinen allzu grossen Querschnitt erfordert; wählt man zwischen Kupfer, Eisen und Phosphorbronze und setzt man für Kupfer $s = 1$, so erhält man für Eisen $= 7{\cdot}5$, für Phosphorbronze $s = 3$.

Die Preise per Kubikcentimeter für jedes dieser Metalle lassen sich durch folgende Verhältnisszahlen ausdrücken: Eisen $= 1$, Kupfer $= 5$, Phosphorbronze $= 4$. Der letztere Preis ist von Prof. Weilenmann einer Notiz der Ztschrft. f. a. E. (Bd. IV, Heft 3) entnommen.

Man erhält demnach folgende Relativwerthe für (sk):

Kupfer 5, Eisen 7·5, Phosphorbronze 12. Für Leitung intensiver Ströme sind demnach die Kupferleitungen beiweitem die billigsten. Wir wiederholen aber nochmals, dass dieser Ausspruch nur von ganz reinem Kupfer gelten kann, und dass die schon früher hervorgehobene Unzuverlässigkeit des im Handel vorkommenden Kupfers die Anwendung dieses Metalls wesentlich einzuschränken geeignet ist.

Von Lazare Weiller in Angoulême wird auch ein ihm patentirter Silicium-Kupferdraht sehr warm

empfohlen. Derselbe soll ein zweimal so grosses Leitungsvermögen besitzen wie der Phosphorbronzedraht, während die absolute Festigkeit der des letzteren nur um ein Geringes nachsteht. Dem Eisen- und Stahldraht gegenüber wird hervorgehoben, dass Silicium-Kupferdraht nicht rostet, dass bei der Anlage durch Verwendung von dünnem Silicium-Kupferdraht gegenüber den dicken Eisen- und Stahldrähten bedeutend an Stangen, Isolatoren und Arbeitslöhnen gespart wird und dass alter Draht immer noch einen Werth von 1,8 Mark pro 1 Kg. besitzt. Dem Kupfer gegenüber soll Siliciumdraht den Vorzug haben, dass er sich nicht ausdehnt, vielmehr in dieser Beziehung gutem Stahl sehr nahe steht. —

Um die inductive Einwirkung einer Anzahl zusammenliegender Leitungsdrähte zu verhindern, ordnet Henry Augustus Clark dieselben so im Kabel an, dass ein und derselbe Draht nur auf einer Strecke der ganzen Leitung zwischen den gleichen benachbarten Drähten liegt. Um dies zu erreichen, wird das Kabel aus einzelnen Drahtbündeln gebildet, und es wird nun ein Draht eine Strecke lang in einem Bündel geführt, geht dann auf der nächsten Strecke in ein benachbartes Bündel über u. s. f., während jeweilig an seine Stelle ein Draht aus einem anderen Bündel tritt. — Das Patent erstreckt sich ferner noch auf ein Verfahren zum Vulkanisiren der Kabel. Dieselben werden nämlich in zweitheilige Formen gebracht, in denen sie während des Vulkanisirens in gestreckter Lage und in entsprechendem Abstande erhalten werden, und welche Formen direct auf den Dampfröhren eines Vulkanisirofens liegen. — Dadurch, dass die Formen an beiden

Enden des Ofens hervorstehen, soll durch die infolgedessen eintretende theilweise Vulkanisirung der in den Enden der Form liegenden Drahtstücke das Vorkommen brüchiger Verbindungsstellen in der vulkanisirten Umhüllung vermieden werden.

Was die beste Isolation für unterirdische Leitungen zur Kraftübertragung ist, darüber lässt sich gegenwärtig kaum urtheilen. Seit die gewöhnliche Guttapercha-Isolation, die sich im Allgemeinen recht gut bewährt hat, zu kostspielig zu werden beginnt, da der Consum die Production übersteigt, hat man allerdings viele neue Isolationsmethoden vorgeschlagen, die scheinbar gute Resultate ergeben, ein endgültiges Urtheil über den Werth derselben kann jedoch erst nach einer längeren Erprobung in der Praxis gegeben werden; wir begnügen uns daher mit einem einfachen Resumé der hauptsächlichsten Isolationsmittel, welche auf der elektrischen Ausstellung in Paris besichtigt werden konnten, da die Kenntniss der bisher gebräuchlichen Methoden für den Fachmann von Wichtigkeit sein dürfte und den Weg anzudeuten vermag, auf welchem die Isolation der Kabel für Kraftübertragungen sich eventuell vervollkommnen lässt.

Einen Theil dieser neueren Isolirungsmethoden haben wir schon in früheren Capiteln kennen gelernt und wollen hier nur noch einige erwähnen, die speciell für elektrische Kraftübertragung dienen sollen. W. J. Henley umgiebt zum Zwecke der Isolation die Dräthe mit einer Lage von Zinkoxyd und gebraucht als äussere Hülle derselben eine Harzmasse, deren Hauptbestandtheil Ozokerit ist.

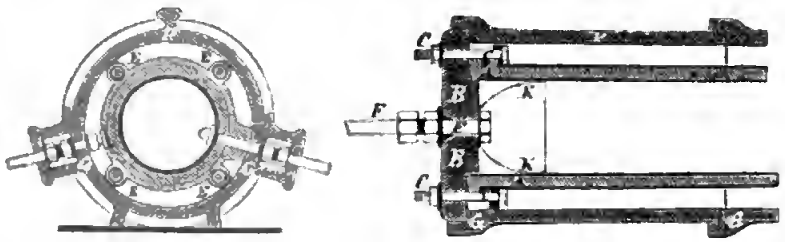
Die Firma Latimer Clark & Muirhead gebraucht als Isolirungsmaterial ihrer Kabel das sogenannte Nigrit, eine aus zwei Theilen Ozokerit und einem Theile Kautschuk bestehende Masse.

Marcus Marcellus Manly, Robert Paterson Manly und William Philipps in Philadelphia rühmen folgende Isolirungs-Methode. Eine Metallröhre wird mitsammt den darin enthaltenen Drähten einem Zug ausgesetzt, der von unten nach oben hin (vertical) wirkt, während zu gleicher Zeit in das untere Ende der Röhre geschmolzene Isolirmasse eingeleitet und gezwungen wird, allmählich in der Röhre in die Höhe zu steigen, dieselbe zu füllen und die Drähte zu umhüllen; sodann wird die Röhre abgekühlt und gedreht, sodass die Drähte Spiralen bilden.

Auf grosse Entfernungen ist auch das System von Ernest Ulysse Parod in Paris berechnet; derselbe verwendet Conductoren, die der Elektricität eine gleichmässige Spannung bewahren und gleichzeitig die Möglichkeit bieten eine grosse Anzahl von Ableitungen an verschiedenen Punkten zu bewirken. Diese Conductoren (Fig. 34) bestehen aus zwei concentrisch liegenden Cylindern *A* und *G* von möglichst grosser Oberfläche, die aus irgend einer Isolirmasse hergestellt werden. Der innere Cylinder *A* wird auf seiner Innen- und Aussenfläche mit leitenden Armaturen versehen, deren erstere vermittelst der kupfernen Haube *K* und des Bolzens *F* mit dem einen Pol der Elektricitätsquelle in Verbindung steht. Der andere Pol ist durch die Bolzen *C* und Flantschen *E* mit der äusseren Armatur von *A* verbunden. Zwischen dem eigentlichen Condensator *A*

und dem Umhüllungs-Cylinder *G*, die beide durch die Deckel *B* entsprechend mit einander verbunden sind, bleibt ein leerer Raum, in dem die zur Vermeidung der Elektricitäts-Ausströmung durch ungelöschten Kalk getrocknete Luft circuliren kann. Die Ableitung nach den zu betreibenden Apparaten erfolgt durch die Bolzen *J* und *J*, welche durch entsprechende Rohrstutzen hindurchgehen und gegen diese mittelst Gummi, Lack oder Harz abgedichtet sind. Der obere Theil *P* des Cylinders *G* ist behufs vorzunehmender Reparaturen abnehmbar gemacht.

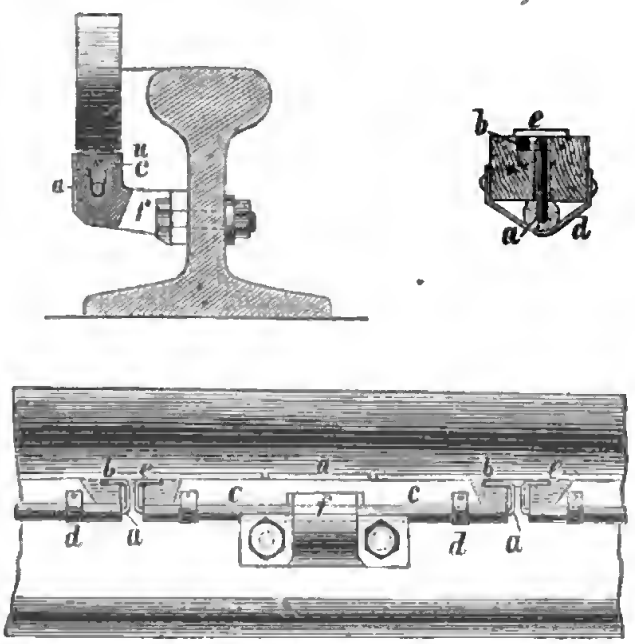
Fig. 34.



Für die Leitung des elektrischen Stromes bei elektrischen Bahnen, welche meistens durch die Schienen erfolgt, benutzt A. Ehrich in Berlin besondere Contactplatten *e* (Fig. 35), welche auf einer längs und innerhalb der Schiene durch Träger *f* gehaltenen Holzschwelle mit entsprechenden Abständen von einander befestigt sind. Diese Contactplatten *e* sind durch isolirende Zwischenstücke *u* getrennt. Unter der Mitte jeder Contactplatte *e* ist die Holzschwelle *c* durchbohrt, um dem an dieser Stelle von seiner Isolirhülle entblössten Leitungsdraht *a* Durchtritt zu gestatten. Dieser Leitungsdraht *a* wird durch Bänder *d* unterhalb der Holzschwelle *c* gehalten und ist an den entblössten Stellen zu

Schlingen *b* gebogen, die in entsprechende Vertiefungen der Schwelle *c* unter die Contactplatten *e* gelegt werden. Von den Contactplatten wird der Strom durch zwei auf denselben laufende Contacträder aufgenommen, deren je eines vorn und hinten am Wagen angebracht ist, so dass mindestens immer eines mit einer Contactplatte in Berührung ist. Die Rückleitung des Stromes

Fig. 35.

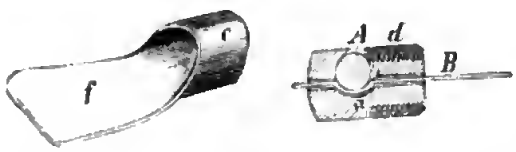


erfolgt durch die gegenüberliegende Laufschiene wie gewöhnlich.

Eine Isolationsmethode, die sich seit ihrer Einführung in der Praxis für Telephonleitungen gut bewährt hat, ist die in Capitel V beschriebene des Amerikaners Brooks, welcher eine grosse Anzahl von mit trockener Jute umwickelten Drähten durch eine mit Petroleumöl gefüllte Metallröhre führt. Diese Isolation ist freilich nicht so gut wie eine Guttapercha-Isolation, aber dennoch sehr zufriedenstellend. Die Metallröhren,

meistens aus galvanisirtem Gusseisen angefertigt, bestehen aus 4·50 Mtr. langen Theilen, die zusammengenietet sind, und alle 1300 bis 1800 Mtr. treten die Röhren in weitere Stücke ein, welche mit vertikalen Röhren in Verbindung stehen, durch welche das Petroleumöl aus einem kleinen Reservoir in die Röhrenleitung eingelassen wird; wenn dieselbe gefüllt ist, werden die Oeffnungen zugeschraubt. An der tiefsten Stelle der Leitung ist eine Verbindung mit einem höher gelegenen Reservoir hergestellt, durch welches der Druck der Flüssigkeit in dem ganzen Röhrensystem constant erhalten wird. Die in den Röhren befindlichen Drahtbündel sind durch einfache Metallbänder mit einander verbunden.

Fig. 36.



Obgleich dieses Isolationssystem für schwache Ströme gut sein mag, scheint dasselbe für die Kraftübertragung durchaus nicht geeignet, da der Widerstand der Isolirung per Kilometer nur zwei Magohms beträgt.

Die, wie wir oben beschrieben haben, von der Firma Berthoud, Borel & Co. fabricirten Kabel dürften sich durch gute Isolation und verhältnissmässig geringen Preis für Kraftübertragungen auf grosse Entfernungen besser eignen.

Speciell auf die Isolirung der Verbindungen von Zweigdrähten mit den Hauptdrähten oder Kabeln bezieht sich eine Erfindung von Arthur Wilfred Brewtnall in London, deren Wesen aus Fig. 36 hervorgeht. Der hakenartige Theil *a* aus Messing ist mit einer Längsbohrung zum Durchstecken des Zweigdrahtes *B* ver-

sehen, während der Hauptdraht oder das Kabel *A* vermittelst der Mutter *d* in der hakenartigen Oeffnung *a* des Theiles *A* gehalten und gleichzeitig fest gegen den, sich infolgedessen etwas krümmenden Zweigdraht gepresst wird. Das Kabel sowohl als auch der Zweigdraht ist an der Berührungsstelle vom Isolirmaterial befreit. Um aber die Verbindungsstelle nach aussen zu isoliren, wird über die Kuppelung eine Kautschukhülse *c* gezogen, deren lappenartiger Ansatz *f* um die Kuppelung herumgelegt und durch Umwickeln von Draht festgehalten wird

Auf der im nächsten Monat im Crystallpalast in London stattfindenden Elektricitäts-Ausstellung wird man, wie es heisst, sich ganz speciell mit der Untersuchung der verschiedenen Isolationsmethoden beschäftigen, und dürften die dort erhaltenen Resultate vielleicht einen zuverlässigeren Aufschluss über die comparativen Vorzüge der einzelnen Isolirungsmittel und Isolirungssysteme gewähren; ehe jedoch eine mehrjährige Anwendung in der Praxis genügende Data ergeben hat, ist es wie gesagt unmöglich, das eine oder das andere System zu empfehlen, und muss es dem Fachmanne überlassen bleiben, das für seine Zwecke ihm am passendsten und vortheilhaftesten erscheinende Material anzuwenden.

XI.

Praktische Anwendungen der elektrischen Kraftübertragung.

Nachdem wir im Vorhergehenden die theoretischen Gesetze kennen gelernt haben, auf welchen die elektrische Kraftübertragung beruht, und dem Leser auch diejenigen Schwierigkeiten vor Augen geführt haben, welche die Giltigkeit der theoretischen Gesetze in der Praxis modificiren, wird es wohl am Platze sein zum Schlusse noch einige der hauptsächlichsten Anwendungen zu besprechen, welche man von der elektrischen Kraftübertragung machen kann, und gleichzeitig Beispiele anzuführen, wie diese Anwendung bis jetzt in der Praxis sich bewährt hat.

Es lassen sich dabei zunächst zwei Fälle unterscheiden: die Uebertragung auf grosse Entfernung und die Benutzung für geringere Distanzen. Wenn nun auch das erstere, die Uebertragung auf grosse Entfernung, entschieden nicht nur der schwierigere, sondern auch der wichtigere Theil der ganzen Aufgabe ist, da dessen Lösung die Benutzung in der Natur vorhandener mächtiger Wasserkräfte in weitem Umkreise ermöglichen wird, so ist dafür der Transport auf geringere Entfernung einer ausserordentlich grossen Zahl verschiedener Anwendungen fähig und kann dadurch für den täglichen Bedarf der Industrie von grösstem Nutzen werden.

Betrachten wir zum Beispiel die in dem Etablissement »A la belle Jardinière« in Paris getroffene Einrichtung, so bieten besonders die oberen Etagen des Gebäudes lebhaftes Interesse, da in dessen Ateliers Nähmaschinen in grosser Zahl durch einen in den Kellerräumen aufgestellten Motor betrieben werden. Eine ähnliche Transmission mit Riemen zu bewerkstelligen, wäre, wenn auch nicht geradezu unmöglich, so doch sehr schwierig gewesen; man hätte die Decken durchbrechen, Vorgelege anbringen, mit einem Wort eine ebenso lästige, wie theuere Installation machen müssen. Bei der elektrischen Kraftübertragung aber genügte es, zwei Drahtleitungen hinaufzuführen und zwei elektrische Maschinen aufzustellen, um einen bekanntlich auch für die Gesundheit der Arbeiter so wichtigen Fortschritt zu erzielen. —

Von der gleichen Wichtigkeit ist die elektrische Kraftübertragung für die Bohrarbeit in den Bergwerken. Fachleute wissen, ein wie grosser Fortschritt für den ganzen Bergbau durch die Einführung der Steinbohr-Maschinen erwachsen ist, als Ersatz der theueren und gesundheitsschädlichen Bohrarbeit mit Schlägel und Eisen durch die Körperkraft der Bergleute selbst.

Um nun solche grossen Steinbohrer, mit welchen die Sprenglöcher in den Felsen hergestellt werden, zu betreiben, musste man in den Grubenbauen Arbeitsmaschinen aufstellen, welche bisher durch comprimirte Luft oder den Druck des Wassers in Rohrleitungen betrieben wurden, und musste dazu entweder unten in der Grube ein Reservoir mit comprimirter Luft etabliren oder aber das Wasser durch biegsame Rohr-

leitungen von den Eingangspunkten der Bergwerke herbeiführen. Beide Eventualitäten sind lästig und Platz raubend. Bei der elektrischen Kraftübertragung kann man einen beliebigen, oben am Tage stationirten Motor verwenden, und die Schmiegsamkeit der elektrischen Leitungen erlaubt, auch an den äussersten Enden der unterirdischen Gänge kleine Motoren zum Betriebe der Steinbohrer aufzustellen.

In dieser Beziehung bot besonders auch die vorjährige Elektricitäts-Ausstellung mancherlei Interessantes, über das wir der »Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen« folgende Bemerkungen entnehmen:

Vom höchsten Interesse für den Bergingenieur waren die Ausstellungsobjecte, welche die Anwendbarkeit der elektrischen Kraftübertragung für bergmännische Arbeitsmaschinen vorführen sollten. Der Katalog wies als ausgestellt zwei Gesteins-Bohrmaschinen und eine Schrämmaschine aus, doch war letztere, von A. Piat in Paris angemeldet, nicht zu finden. Von den Bohrmaschinen ist die von Siemens & Halske in Berlin für den praktischen Grubendienst nicht geeignet, da sie zu wenig compendiös und das Gestell derselben unzweckmässig ist. Sie wirkt stossend und hat eine gewisse Aehnlichkeit mit der Handbohrmaschine von Faber. Die Uebertragung der rotirenden Bewegung der Kraftmaschine in die hin- und hergehende des Bohrers ist jedenfalls unzweckmässig und mit Kraftverlusten verbunden.

In der französischen Abtheilung war eine Drehbohrmaschine von Taverdon mit Bohrkronen aus Stahl und eine solche mit eingelassenen Diamanten

ausgestellt. Dieselbe kostet 2400 Frcs., also 600 Frcs. mehr als eine für den Betrieb mit comprimirter Luft eingerichtete Maschine.

Der Vergleich der Kraftübertragung durch comprimirte Luft und Elektricität fiel zu Gunsten der letzteren aus, indem sich bei comprimirter Luft ein Nutzeffect von höchstens 25 %, bei elektrischer Kraftübertragung jedoch ein Nutzeffect von circa 60 % herausstellte.

Marcel Deprez hat auf dem internationalen Congresse der Elektriker in Paris den Nachweis geführt, dass es möglich ist, mit zwei gleichen Gramme'schen Maschinen eine Nutzarbeit von 10e auf 50 Km. mittelst eines gewöhnlichen Telegraphenkabels zu übertragen, wenn die zum Betriebe der stromerzeugenden Maschine erforderliche Arbeit 16e beträgt.

Für Gruben mit Schlagwettern ist wegen der zahlreichen kräftigen Funken die Anwendung elektrischer Motoren ausgeschlossen.

An Zündmaschinen zum gleichzeitigen Wegthun einer grösseren Anzahl von Schüssen waren vorgeführt die Systeme: Bornhardt, Abegg (Reibungs-Elektricität), Breguet (Inductionsströme), Emil Bürgin in Basel, Siemens (dynamoelektrische Maschinen). — Bürgin's Zündmaschine giebt bei sehr compendiöser Construction (0·02 Kbm.) angeblich auf 7 Km. Entfernung genügend starke Ströme, um eine Anzahl von Schüssen zu zünden. — Endlich waren auch drei Aufbereitungsapparate ausgestellt, welche Erze, die der Magnet anzieht, von anderen Erzen oder von taubem Gestein trennen. Auf die Construction derselben, als

nicht in dem Rahmen unseres Themas liegend, wollen wir hier nicht näher eingehen. —

Ein anderer in der Praxis häufig vorkommender und in früheren Capiteln dieses Buches schon erwähnter Fall ist der, dass ein Hüttenwerk oder sonstiges industrielles Etablissement in der Nähe eines Wasserfalls liegt, demselben aber nicht so nahe ist, um die Kraft der ihn ausnutzenden hydraulischen Motoren durch Riemen bis zu den Werkstätten übertragen zu können. Es ist dann vortheilhaft, unmittelbar bei den hydraulischen Motoren eine oder mehrere Stromerzeugungs-Maschinen aufzustellen und vermittelst dieser die Kraft auf die Arbeitsmaschinen zu übertragen. Man erleidet dabei allerdings, wie wir weiter oben gesehen haben, beträchtliche Kraftverluste, aber trotzdem ist es vortheilhaft diese bisher gar nicht benutzte, wohlfeile Naturkraft in den Dienst der Industrie zu ziehen. Aber auch in Etablissements mit mächtigen Dampfmaschinen kann unter Umständen die elektrische Kraftübertragung recht vortheilhafte Verwendung finden. Es wird nicht selten vorkommen, dass man in, vom Centrum der Krafterzeugung, dem Dampfkesselhaus, entfernt liegenden Werkstätten eine Betriebskraft zu haben wünscht, welche nicht bedeutend genug ist, um die Anlage einer eigenen Kraftquelle zu rechtfertigen, bei der aber die Entfernung, im Wege befindliche Hindernisse und der höhere Kostenaufwand eine directe Dampfzuleitung oder eine mechanische Kraftübertragung ausschliessen. Es kann beispielsweise nicht nur angenehm, sondern auch nützlich, ja nothwendig sein, in den Bureau- und Wohngebäuden der Besitzer indu-

strieller Etablissements kleinere Betriebskräfte für geschäftliche und häusliche Zwecke zur Verfügung zu haben. In allen diesen Fällen wird man durch das System der elektrischen Kraftübertragung der mit Einrichtung eigener Kraftquellen verbundenen Unannehmlichkeiten überhoben. —

Die erste praktische Anwendung der elektrischen Kraftübertragung vermittelst gekoppelter dynamoelektrischer Maschinen wurde, wie bereits früher erwähnt, von Herrn Fontaine auf der Wiener Weltausstellung im Jahre 1873 gemacht, wo eine Wasserpumpe vermittelst des Stromes einer ein Kilometer entfernten Gramme'schen Maschine betrieben wurde. Später, im Jahre 1877, wurden Versuche bezüglich elektrischer Kraftübertragung in der Artillerie-Schule zu Saint Thomas d'Aquin gemacht, woselbst die Artillerie-Officiere eine Theilmaschine durch einen 60 Mtr. entfernten Primärmotor betrieben.

Im Jahre 1878 wandte ein Herr Cadiat die elektrische Kraftübertragung in seinen Werkstätten zu Val d'Osnes an und zu gleicher Zeit wurde die Elektricität als Motor von der Compagnie de Lyon verwendet. —

Das erste Beispiel einer praktischen Anwendung der elektrischen Kraftübertragung jedoch, welches die öffentliche Aufmerksamkeit auf sich lenkte, war das durch die Versuche der bekannten französischen Ingenieure Félix und Chrétien in einer Zuckerfabrik zu Sérmaize an der Marne gegebene.

In Sermaize nämlich wurde die Kraft der in der Zuckerfabrik befindlichen Dampfmaschine nach einem

entfernten Ackerfelde übertragen und dort zum Betriebe eines Pfluges benutzt. Die Leitungsdrähte hatten eine Länge von 1600 Mtr. und die von dem Pfluge geleistete Arbeit betrug 30 bis 40 Ares per Stunde. Von der in der Zuckerfabrik befindlichen Dampfmaschine, welche 25 Pferdekräfte Arbeit lieferte erhielt man 12 Pferdekräfte durch die elektrische Kraftübertragung wieder.

Da die Dampfmaschinen in der Zuckerfabrik nur vier Monate lang per Jahr im Gebrauch waren und demnach während des grössten Theiles des Jahres unbenutzt dastanden, so war deren Anwendung zur Kraftübertragung eine sehr glückliche Idee, und zeigt das Experiment der Herren Félix und Chrétien deutlich, dass in vielen Fällen selbst bei einem Verluste von 50 Percent die elektrische Kraftübertragung einen grossen materiellen Vortheil zu gewähren vermag.

Im Winter wurden die Dampfschiffe, welche die Rüben für die Zuckerfabrikation herbeischafften, vermittelst derselben Dampfmaschinen entladen und zwar ebenfalls durch Anwendung gekoppelter elektrischer Motoren. Ausserdem benutzte man die Motoren zur Erzeugung von elektrischem Licht für die Fabrik und den Quai des Canals. Alle diese Kraftübertragungen wurden vermittelst einfacher Telegraphendrähte ausgeführt und die Leistungen der Motoren waren vollständig zufriedenstellend. —

Ein Herr Menier wendet ebenfalls seit mehreren Jahren die elektrische Kraftübertragung zur Arbeitsleistung auf seinem Gute in Noisiel an, indem er die Kraft eines dortselbst befindlichen Wasserfalles ver-

werthet. In der französischen Erzgiesserei zu Ruelle werden alle kleineren Apparate, Drehbänke, Bohrmaschinen etc. vermittelst Elektricität in Bewegung gesetzt und in den berühmten Magasins du Louvre übermittelt ein im Erdgeschosse befindlicher Dampfmotor seine Kraft durch eine Drahtleitung nach einem 150 Mtr. entfernten Gebäude in der Rue de Valois. —

Sehr mannigfaltige Anwendungen elektrischer Kraftübertragung auf geringe Entfernungen waren auf der letztjährigen Elektricitäts-Ausstellung im Palais de l'Industrie zu Paris zur Schau gestellt worden und auf eine derselben, welche in unserem Titelbild dargestellt worden ist, wollen wir hier mit einigen Worten näher eingehen. Es ist dies wohl die gelungenste und vielseitigste Anwendung, welche bisher gemacht wurde, nämlich die von der Firma Heilmann, Ducommun und Steinlen in Mühlhausen. Dieselbe zerfällt in zwei wohl zu unterscheidende und auch räumlich getrennte Abtheilungen: die eine, in der Maschinen-Gallerie aufgestellte und von unserem Titelbild behandelte, enthält einen kräftigen Dampfmotor mit Dampfmaschine, von denen ganz links auf unserer Abbildung noch ein Theil zu sehen ist, und eine Anzahl elektromagnetischer Maschinen nach Gramme's System, welche als Stromerzeugungs-Maschinen dienen.

Diese Gramme-Maschinen waren auf einem, durch ein eisernes Gitter eingeschlossenen rechteckigen Raum (rechts und in der Mitte des Bildes) in zwei Reihen aufgestellt und standen mit dem Betriebsmotor durch Transmissionsriemen in Verbindung. Wie auf der Abbildung ersichtlich, wurde vom Dampfmotor aus

zunächst durch einen Hauptriemen eine zwischen ersterem und den elektrischen Maschinen auf dem Fussboden des Maschinenhauses aufgestellte Haupt-Transmissionsaxe in Bewegung gesetzt. Auf dieser sind vier Riemenscheiben befestigt, welche zur Bewegung der auf einem hohen Gerüst oberhalb der elektrischen Maschinen placirten Vorgelegewellen dienen; diese selbst geben dann endlich ihre Kraft an die einzelnen Dynamos ab. Hierdurch war es ermöglicht worden, von den letzteren jederzeit eine beliebige Anzahl in und ausser Betrieb zu setzen.

Den zweiten Theil der Anlage bildete ein ganzes Atelier mit Werkzeugmaschinen, welche durch zwei Elektromotoren von Gramme, System *A*, in Bewegung gesetzt wurden.

Zwischen diesen beiden Elektromotoren und den dynamoelektrischen Stromerzeugern bildete eine Drahtleitung die Verbindung und übermittelte den ersteren eine Kraft von 3 Pferdekräften, welche zum Antriebe von einem Dutzend verschiedener Werkzeugmaschinen, Dreh- und Hobelbänken, Bohr- und Fraismaschinen, Schleif- und Polirmaschinen etc. dienten.

Ein anderer Theil des in der Maschinen-Abtheilung erzeugten Stromes wurde zur Beleuchtung des Ateliers verwendet und zwar zuerst mit Werdermann-Reynierlampen, welche zur Beleuchtung des Raumes im grossen Ganzen dienten. Später fügte man mit Porzellanreflectoren versehene Edisonlampen hinzu, indem man eine derselben über jeder Werkzeugmaschine anbrachte, um die Stellen zu beleuchten, an denen die Natur der Arbeit ein besonders helles Licht erforderlich macht. —

Wir wollen bei dieser Gelegenheit hervorheben, wie man den wechselnden Bedarf einer Werkstätte an Betriebskraft und Licht manchmal mit einer Kraft bestreiten kann, welche für beide Verwendungen gleichzeitig, nicht genügt. Es betrifft dies solche Fälle, in denen nur am Tage mit voller Kraft oder überhaupt nur am Tage gearbeitet wird und der vorhandene Motor nur für den Betrieb der Arbeitsmaschinen etc. berechnet ist und ausreicht. Soll die Betriebskraft nun auch zur Erzeugung des elektrischen Lichtes dienen, so lässt man den Motor auch während der Nacht nöthigenfalls mit voller Kraft arbeiten, verwendet einen Theil des elektrischen Stromes zur Beleuchtung des Fabrikcomplexes oder der Wohnungen und speichert den Rest desselben in den weiter oben beschriebenen Accumulatoren oder Secundär-Batterien auf, für die Morgen- und Abendstunden, in denen Betriebskraft und künstliche Beleuchtung gleichzeitig erforderlich ist. —

In ähnlicher Weise verfährt William Siemens bei seinen hochinteressanten Beobachtungen über den Einfluss des elektrischen Lichtes auf das Wachsthum der Pflanzen. Die Betriebskraft, welche ihm während der Nacht zur Speisung der elektrischen Lampen dient, wird während des Tages zum Betriebe von Pumpen für Bewässerungsanlagen und einigen landwirthschaftlichen Apparaten benutzt, bleibt also auch niemals müssig.

Eine andere interessante Anwendung der elektrischen Kraftübertragung wurde von Herrn Clowis Dupuy, dem technischen Leiter der grossen Bleicherei des Herrn Duchenne-Fournet zu Breuil-en-Ange, gemacht, woselbst seit längerer Zeit elektrische Maschinen

zur Beleuchtung in Anwendung sind und wo es sich vor Kurzem darum handelte auch während des Tages eine nützliche Verwerthung der Lichtmaschinen zu finden. Herr Dupuy kam nämlich auf den Gedanken, die zum Bleichen der Tuchstücke benutzten Wiesen, welche sich in der Nähe des Etablissements des Herrn Duchenne-Fournet befinden, mit einer Schienenstrecke zu umgeben, auf welcher man vermittelst eines durch eine elektrische Locomotive gezogenen Wagenzuges die Stoffstücke nach den Wiesen transportiren könne.

Dieser Gedanke wurde wirklich ausgeführt und man errichtete eine Bahnlinie von einer Länge von zwei Kilometern, auf welcher gegenwärtig sechs Wagen mit einer Geschwindigkeit von 3·25 Mtr. laufen und in denen der Transport, welcher früher durch Menschenhände besorgt werden musste, leicht und billig vor sich geht.

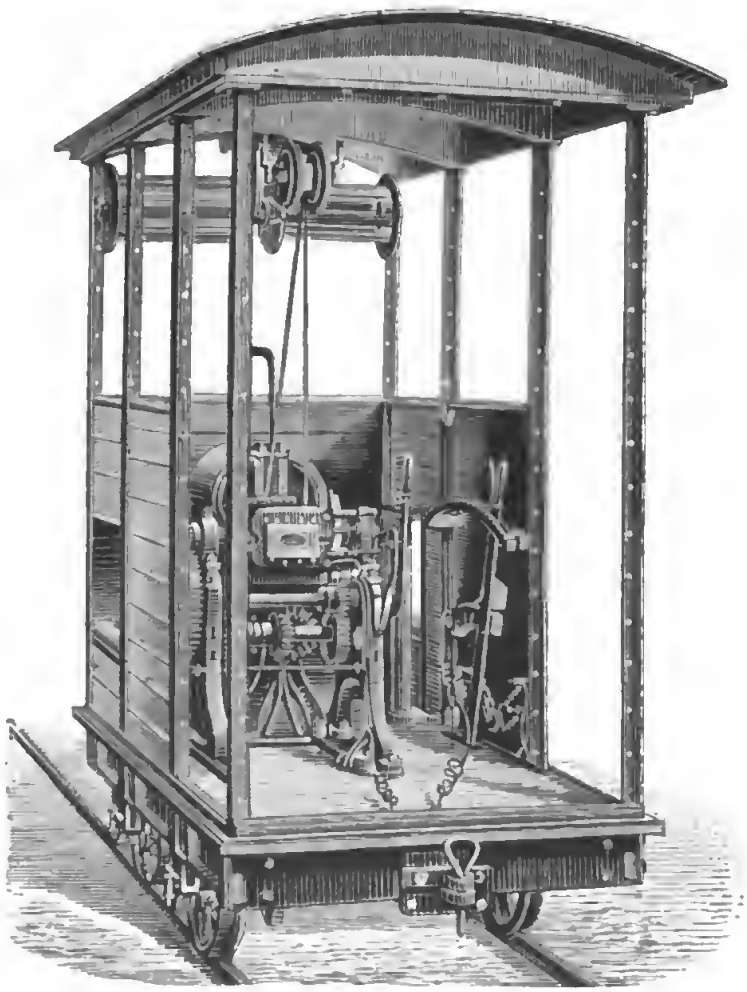
Aber nicht nur der Transport, sondern auch das Ausbreiten und spätere Wiederaufrollen der Tuchstücke, welche alle zusammengenäht sind, geschieht durch die Anwendung von Elektricität, und durch eine mit dem elektrischen Motor verbundene Krahnvorrichtung werden 5000 Mtr. Stoff in 35 Minuten zusammengerafft, eine Arbeit, welche — von sieben Leuten ausgeführt — 4 bis 5 Stunden zu dauern pflegte.

Der Wagen, welcher den Motor und die Krahnvorrichtung trägt, ist in Fig. 37 abgebildet.

Ein bemerkenswerther Umstand bei der Dupuyschen Kraftübertragung ist der, dass die Kraft des Dampfmotors und der Primärmotoren nicht direct über-

tragen, sondern zuerst in einer Secundär-Batterie aufgespeichert und von dieser dann, sobald Bedarf vorhanden, zu dem arbeitgebenden Motor geleitet wird. Die Secundär-Batterie besteht aus 60 Faure'schen Elementen,

Fig. 37.



und sind dieselben zu je sechs Stück in Körben verpackt, die sich in dem abgebildeten Wagen befinden, woselbst sie durch Leitungsdrähte mit dem arbeitgebenden (Siemens'schen) Motor in Verbindung stehen. —

Diese Dupuy'sche Anwendung der Elektricität führt uns zur Besprechung der elektrischen Eisenbahnen.

Das Verdienst der ersten Anwendung*) dieser elektrischen Kraftübertragung gebührt der Firma Siemens & Halske in Berlin. Diese Firma hatte bereits auf den letzten Ausstellungen in Brüssel und Düsseldorf eine kleine elektrische Eisenbahn ausgestellt, bei welcher zwei Wagen durch einen auf einem andern Wagen befindlichen Siemens'schen Motor betrieben wurden, der seine Betriebskraft von einer feststehenden Dampfmaschine erhielt. Die Kraftübertragung fand in sehr einfacher Weise statt; der Strom wurde nämlich in eine zwischen den beiden gewöhnlichen Schienen befindliche mittlere Schiene geleitet und trat von dort durch die auf der Schiene schleifenden Bürsten des Motors in den Motor selbst ein, welcher letztere die Räder in Bewegung setzte.

Die erste wirkliche elektrische Eisenbahn mit Personenbetrieb wurde von der Firma Siemens & Halske Anfang letzten Jahres für die Strecke Berlin-Lichterfelde eröffnet und zur Cadettenschule geleitet; diese Bahn hatte Anfangs eine Länge von drei Kilometern und ist gegenwärtig etwa sieben Kilometer lang.

*) Nach dem Londoner »Electrician« wurde schon in den Dreissiger Jahren von Davidson eine »elektrische Locomotive« construirt und, allerdings ohne praktischen Erfolg, auf der Eisenbahn zwischen Edinburgh und Glasgow probirt; jede der beiden Axen wurde durch einen elektromagnetischen Motor direct in Bewegung gesetzt. An jedem Ende des 16 Fuss langen, 6 Fuss breiten und reichlich 5000 Kilo wiegenden Gefährtes befand sich eine Voltaische Säule nach dem System von Spurgeon, bei welchem mit 10% Schwefelsäure angesäuertes Wasser zur Anwendung kommt. Man soll auf ganz horizontaler Strecke nur eine Geschwindigkeit von vier englischen Meilen per Stunde erzielt und deshalb die Sache gleich wieder fallen gelassen haben.

36 Züge laufen jeden Tag auf dieser Bahn und die ganze Einrichtung hat bisher sich als sehr zufriedenstellend erwiesen. —

Ebenso errichtete die obengenannte Berliner Firma eine elektrische Tramwaylinie von Berlin nach Charlottenburg; da man jedoch auf dieser Strecke des Verkehrs wegen keine erhabenen Schienen legen durfte, so benützte man einfache Tramwayschienen, die natürlich, da sie fortwährend mit Staub und Schmutz bedeckt sind, nicht zur Hauptleitung des Stromes verwerthet werden konnten, und man sah sich genöthigt auf Telegraphenstangen neben dem Geleise einen Draht anzubringen, durch welchen der Strom zu dem Motor der Eisenbahn gelangt, indem er durch einen Schleifcontact abgeleitet wird. Die Schienen dienen zur Rückleitung des Stromes. —

Als die Pariser Elektricitäts-Ausstellung im letzten Jahre eröffnet wurde, glaubte das Pariser Haus der Firma Siemens, dass es für die von ihm angemeldete elektrische Tramwaylinie von der Place de la Concorde bis zum Ausstellungsgebäude nur die Lichterfelder Linie nachzumachen brauchte, und zwar sollte dann die Eisenbahn auf Säulen durch die Luft geführt werden. Allein die obrigkeitliche Entscheidung über die Zulässigkeit dieses Projectes verzögerte sich, bis es für diesen Plan zu spät war, und dann verlangten die Municipalbehörden, dass man einfache Tramwayschienen anwende, und es stellte sich während der Versuche heraus, dass der Schmutz sich so fest an diese Schienen ansetzte, dass man dieselben noch nicht einmal zur Rückleitung benutzen konnte.

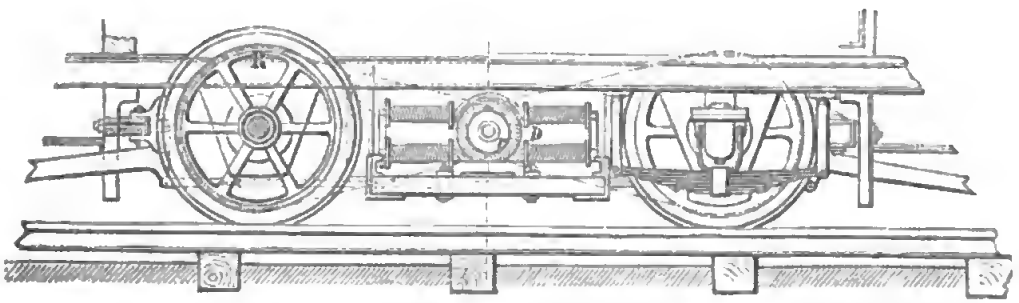
Nachdem man zuerst zur Hinleitung des Stromes einen einfachen auf einem Drahte schleifenden Rollcontact angewendet hatte, der sich jedoch als unpraktisch erwies, da die Bahnstrecke eine starke Krümmung machte, und während schneller Fahrt der Rollcontact nicht fest auf dem Leitungsdrahte auflag, stellte man später die Leitung in der Weise her, dass man an der einen Seite der Bahn Telegraphenstangen aufstellte, an denen eine horizontale Holzlatte aufgehängt war.

An dieser Latte waren an den beiden unteren Ecken zwei unten aufgeschnittene Messingröhrchen angeschraubt, in denen je ein Schiffchen sich bewegte, welches an den mit dem Motor des Tramways verbundenen Leitungsdrähten befestigt war. Durch die eine Röhrenleitung wurde der Strom dem Motor zugeführt, die andere diente zur Rückleitung. Eine Federvorrichtung drückte beim Gleiten das Schiffchen gegen die Innenwände der Röhren, um der Neigung desselben zum Springen bei schneller Fahrt nach Möglichkeit entgegenzuwirken. Nach der »Z. f. a. E.« konnte man in der That selbst bei Tage an der Contactvorrichtung vielfach Funken wahrnehmen. Die Leitungskabel wurden nicht direct zum Nachziehen des Schiffchens benützt, vielmehr geschah dies durch eine Schnur. Das unruhige Arbeiten der ganzen Contactvorrichtung lag auch besonders daran, dass die Holzlatten, obwohl sie auch zwischen den Pfählen Hängebrücken ähnlich, aufgehängt waren, sich dennoch stark durchgebogen hatten. Der Durchmesser der Röhren betrug 22, der Ausschnitt 10 Mm.

Der Motor *D* (eine grosse, v. Hefner-Alteneck'sche Maschine mit 550 Touren per Minute) war, wie Fig. 38

zeigt, unter dem Tramwaywaggon befestigt. Der Wagen selbst war 7·70 Mtr. lang, 2·25 Mtr. breit und 3·65 Mtr. hoch und mit Imperiale versehen. Das Gewicht desselben sammt Motor betrug 5500 Kgr. und führte der Wagen 50 Passagiere (was das Totalgewicht auf etwa 9000 Kgr. steigerte), indem er mit einer Geschwindigkeit von 17 Kilometer fuhr. Berechnungen zeigten sogar, dass man die Geschwindigkeit auf 70 Kilometer per Stunde hätte steigern können. Benützt wurde die Bahn während der Ausstellung durch 84.000 Personen, welche 21.000 Francs Fahrgeld zahlten.

Fig. 38.



Die Dampfmaschine, welche die Betriebskraft lieferte, gab eine Arbeit von 20 Pferdekräften und der mit ihr verbundene Primärmotor war im Stande dieselben zu absorbiren. Der Secundärmotor, welcher sich, wie oben beschrieben, unter dem Waggon befand, war etwas kleiner und durch eine Gall'sche Kette mit einer der Axen verbunden, welche durchschnittlich 465 Touren per Minute machten. Man liess die Dampfmaschine nur etwa mit einer Stärke von 17 Pferdekräften arbeiten und erhielt ungefähr 8 Pferdekräfte wieder. Dieses Resultat ist, wie man nach dem Studium der vorhergehenden Capitel dieses Bändchens wohl einsehen wird, kein besonders

glänzendes, doch konnte man bei den Schwierigkeiten, welche durch die Nothwendigkeit Tramwayschienen anzuwenden entstanden, und bei den ziemlich unvollkommenen Gleitcontacten wohl kaum einen besseren Erfolg erwarten.

Die Bahn war 493 Mtr. lang und hatte auf der Place de la Concorde eine Curve von 55 Mtr., beim Eintritt in das Palais de l'Industrie zwei weitere Curven von 30, resp. 27 Mtr. Radius. An letzterer Stelle war auch eine Steigung von 21 Mm. per Meter zu überwinden. Bei der oben angegebenen Geschwindigkeit wurden auf gerader Bahn 3·5, in den Curven bis zu 7·5 und bei der Steigung 7·5 Pferdekräfte absorbirt. Hierbei kam also die Eigenthümlichkeit des Betriebes mit Elektromotoren, dass die Stromstärke und damit die Zugkraft um so stärker sind, je langsamer der Krafterzeuger sich dreht, sehr zu statten.

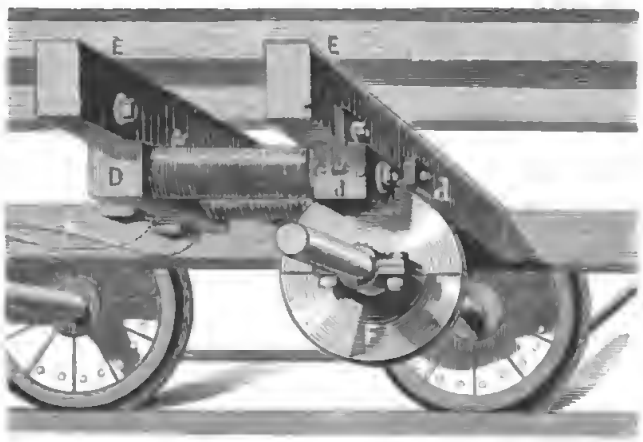
Was die Führung des Waggons und die Regulirung der Fahrgeschwindigkeit anbetrifft, so befand sich zu diesem Zwecke in dem Waggon ein Rheostat, welcher dem Conducteur ermöglichte, durch einfache Drehung einer Kurbel einen oder mehrere Widerstände in den Stromkreis ein- oder auszuschalten und so die Schnelligkeit der Fahrt zu vermehren oder zu vermindern.

Wünschte man den Waggon zum Halten zu bringen, so veranlasste man dies natürlich durch ein Unterbrechen des Stromes; um jedoch diese Unterbrechung nicht zu plötzlich eintreten zu lassen, war die Einrichtung so getroffen, dass man nach und nach stärkere Widerstände einschaltete und erst dann den Strom

unterbrach. Ausserdem war der Waggon auch noch mit einer gewöhnlichen Bremse versehen. —

Eine elektrische Eisenbahnbremse ist von Edison angegeben worden und in Fig. 39 abgebildet; dieselbe ist in der skizzirten Weise unter dem Tragbalken *E* des Waggons angebracht und beruht auf dem Principe der Faraday'schen Kupferscheibe. Die Scheibe *F* ist direct auf der Axe befestigt und rotirt zwischen den nahe einander gegenüberstehenden Polen *d* eines kräftigen Elektromagneten. Soll gebremst werden, so

Fig. 39.



leitet man durch denselben einen Strom, welcher in der Kupferscheibe *F* Faraday'sche Ströme erzeugt. Die dann sehr kräftig wirkende Bremse beruht also im Wesentlichen auf demselben Princip, welches in den Galvanometern schon lange zur Dämpfung der Schwingungen der Nadeln angewandt wird.

Man hat gegen die Bremse den Einwand erhoben, dass dieselbe mit abnehmender Geschwindigkeit in ihrer Wirkung immer mehr nachlässt. Man kann aus diesem Grunde auch eine gewöhnliche Backenbremse bei Anwendung der vorbeschriebenen elektrischen Bremse

nicht wohl entbehren. — Später hat auch die Pferdebahn-Gesellschaft Rubaix-Tourcoing versuchsweise elektrische Tramwaywaggons und zwar mit Faure'schen Accumulatoren in Betrieb genommen. Die Letzteren sind unter den Sitzen angebracht und übertragen den Strom auf die unter dem Wagen angebrachten Elektromotoren; sie sollen für 4—6 Stunden ausreichen. Die Waggons nach diesem System sind circa 200 Mm. höher, wodurch die äussere Erscheinung sehr gewinnt. Die Versuche sollen sich bewährt und zum Umbau einer grösseren Anzahl Wagen geführt haben. —

Was die Kosten für den Betrieb eines elektrischen Tramways anbetrifft, so würden sich dieselben, wie Herr Boistel von der Firma Siemens frères in Paris angiebt, auf etwa 0·32 Frcs. per Waggon und Kilometer belaufen. Die Kosten für die von Pferden gezogenen Tramways in Paris betragen 0·52 Frcs. bis 0·55 Frcs., während die Betriebskosten für den Dampftramway, welcher von der Place de l'Etoile nach Courbevoi geht, 0·75 Frcs. per Kilometer und Waggon betragen. —

Abgesehen von der grösseren Billigkeit der elektrischen Tramways und Eisenbahnen, haben dieselben den grossen Vortheil, dass die lästigen Begleiter unserer gewöhnlichen Eisenbahnen, Feuer und Rauch, bei elektrischen Lokomotiven nicht vorhanden sind, und werden diese letzteren sich vorzüglich für die sogenannten Hochbahnen eignen, wie solche seit langer Zeit in New-York und seit einem Jahre etwa auch in Berlin bestehen; denn gerade auf diesen Bahnen sind die Dampfmaschinen als Motoren höchst unbequem und unpraktisch, und es steht ausser Zweifel, dass dieselben

binnen Kurzem durch die elektrischen Motoren ersetzt werden dürften, zumal da sich auf den Hochbahnen der Schienenweg zum Zwecke elektrischer Kraftübertragung ausserordentlich leicht isoliren lässt.

Noch wesentlicher sind die letzterwähnten Eigenschaften für den Betrieb unterirdischer Eisenbahnen und solcher Strecken, welche durch viele naheliegende und lange Tunnels gehen, wie auf den Schweizer Bahnen. In Bern sollen demnächst Versuche im Grossen angestellt werden, um festzustellen, ob und unter welchen Voraussetzungen ein Betrieb von Tunnelbahnen durch Elektricität praktisch ausführbar ist. —

Die Gesammtlänge der in Europa und Amerika bis jetzt fertiggestellten und bezw. dem öffentlichen Verkehr übergebenen elektrischen Eisenbahnen wird von der »Revue industrielle«, welche vor Kurzem ein Verzeichniss der elektrischen Beförderungswege veröffentlicht hat, auf 160 Km. berechnet. Hiervon entfallen auf Deutschland die oben erwähnten Linien von Bahnhof Lichterfelde bei Berlin nach der Haupt-Cadettenanstalt daselbst mit 7.6 Km. und von Charlottenburg nach dem Spandauer Bock mit 2.3 Km. In Nord-Irland ist eine elektrische Bahn vom Hafen Bush nach den 10 Km. entfernten Fabrikanlagen gleichen Namens und in Niederland eine Strecke von Zandvoort nach Kostverlorn von 2 Km. im Betriebe. — In der Bauausführung begriffen bezw. concessionirt sind u. A. folgende elektrische Bahnen: Eine Verbindungslinie von der österreichischen Südbahnstation Mödling nach dem an Naturschönheiten so reichen Thal der Brühl von $2^1/_2$ Km. Länge, eine 2 Km. lange Strecke in

Wiesbaden, in Sachsen eine Verbindungsbahn für die königlichen Bergwerksanlagen bei Zankerode, in Italien eine elektrische Omnibusverbindung zwischen Turin und Mailand, in St. Louis (Nordamerika) eine 1·8 Km. lange Bahn; von New-York aus gar eine 80 Km. lange Bahn — wohin, weiss man noch nicht, und, als interessanteste von allen, in England zwei unterirdische Bahnen, von denen die eine, 1·2 Km. lang, unter dem Bett der Themse durchlaufend, Charing Cross und Waterloostation in Verbindung bringt, während die andere 60 Km. lange im Pays de Galle (Südwales) ihre Betriebskraft durch elektrische Kraftübertragung von einem Wasserfall im Walliser Gebirge erhalten soll.

Es besteht auch der Plan, die Beförderung der Eisenbahnzüge durch den St. Gotthardtunnel mit elektrischen Maschinen zu bewerkstelligen und zwar nach dem oben beschriebenen System, welches die Firma Siemens & Halske in Paris anwandte. An den Enden des Tunnels giebt es viel Wasserkraft, welche zur Bewegung von Turbinen benützt werden soll. Ein Kabel mit zolldickem Kupferdraht müsste durch den Tunnel gelegt werden, auf welchem dann ein kleiner Wagen die leitende Verbindung mit dem Elektromotor des Zuges zu Stande bringen soll. Die Schienen sollen für den Rückstrom benützt werden. Die Kosten der Einrichtung sind auf nur 180.000 Francs veranschlagt.

Die Concessionsurkunde, durch welche der österreichischen Südbahn das Recht zur Anlage der oben erwähnten elektrischen Eisenbahn in das Brühlthal ertheilt wird, bietet einige Punkte, die auch für weitere Kreise von Interesse sein dürften. Die Bahn ist ver-

Digitized by Google

pflichtet den Bau von Mödling in die Vorderbrühl sofort zu beginnen und bis längstens 15. Juli 1883 zu vollenden, die fertige Bahn dem öffentlichen Verkehre zu übergeben und während der ganzen Concessionsdauer in ununterbrochenem Betriebe zu erhalten. Ihr wird das Recht der Expropriation ertheilt, auch bezüglich jener zu einzelnen industriellen Etablissements etwa herzustellenden Flügelbahnen, deren Errichtung von der Staatsverwaltung als im öffentlichen Interesse gelegen erkannt werden sollte. Die projectirte Eisenbahn ist mit einer Spurweite von 1 Mtr. als Localbahn mit blossem Tagverkehr für eine Maximalgeschwindigkeit von 20 Km. per Stunde anzulegen und auszurüsten. Die circa 3 Km. lange Bahn zweigt von der Station Mödling der Südbahn ab, führt in vorherrschend westlicher Richtung durch die Stadt Mödling über Klausen nach der Vorderbrühl und findet vorläufig ihren Endpunkt in der Station dieses Namens nächst dem Gasthof »Zu den zwei Raben«, von wo eventuell eine Verlängerung bis in die Hinterbrühl hergestellt werden soll. Die Bahn ist eingeleisig zu erbauen und dem entsprechend auch die Grundeinlösung durchzuführen. Als grösste zulässige Steigung in der currenten Strecke werden 15 pro Mille = 1 : 66·66 festgesetzt. Die Minimal-Curven-Halbmesser dürfen in der currenten Bahn nicht unter 30 Mtr. betragen. Die Hochbauten der Stationen können auf die nach Bedarf mindeste Ausdehnung beschränkt und die Gebäude für den Personendienst den localen Verhältnissen entsprechend entweder in definitiver Weise oder auf einer Untermauerung aus Riegelwänden oder auch ganz aus Holz erbaut werden. Die durchschnittliche

Entfernung der Stationen und Haltestellen hat höchstens 1·53 Km. zu betragen. Die Anlage von Wärterhäusern, beziehungsweise Signalhütten in der currenten Strecke kann im Allgemeinen unterbleiben und auf jene Stellen beschränkt werden, wo Uebersetzungen besonders frequenter Strassen vorkommen. Die Gesellschaft hat eine telegraphische eventuell telephonische Signalisirung einzuführen, die Aufstellung von Glockensignalen kann unterbleiben. An Fahrbetriebsmitteln sind mindestens drei Personenwagen mit je einer elektrischen Kraftübertragungsmaschine und einem Fassungsraum für je 18 Sitzplätze anzuschaffen. Als dazu gehörige stabile Einrichtung sind in der Station Mödling ein Dampfmotor von mindestens 40 Pferdekräften und zwei elektrische Stromerzeugungs-Maschinen aufzustellen.

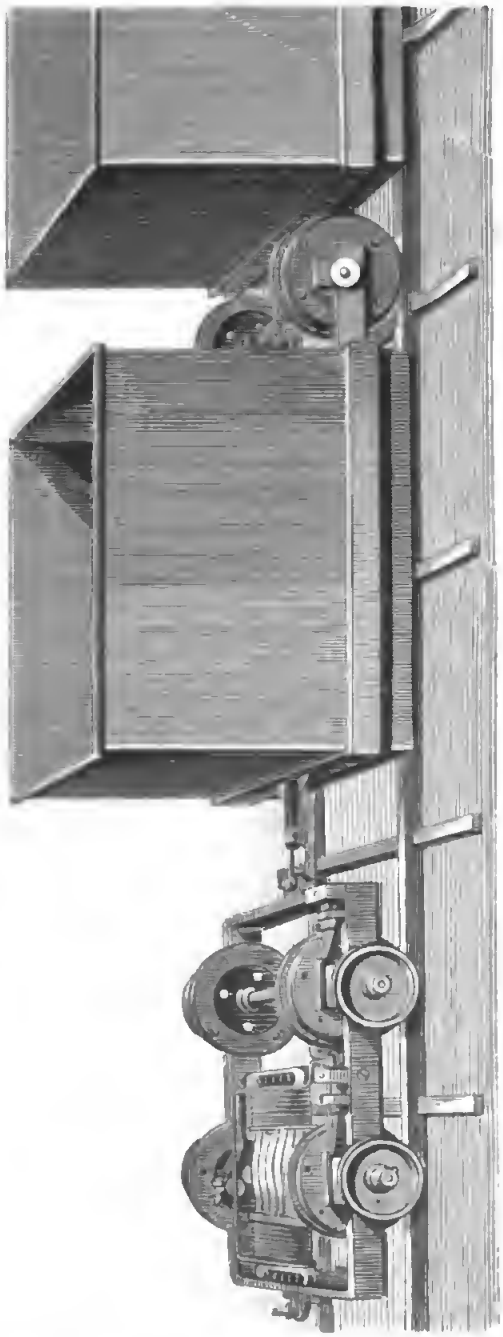
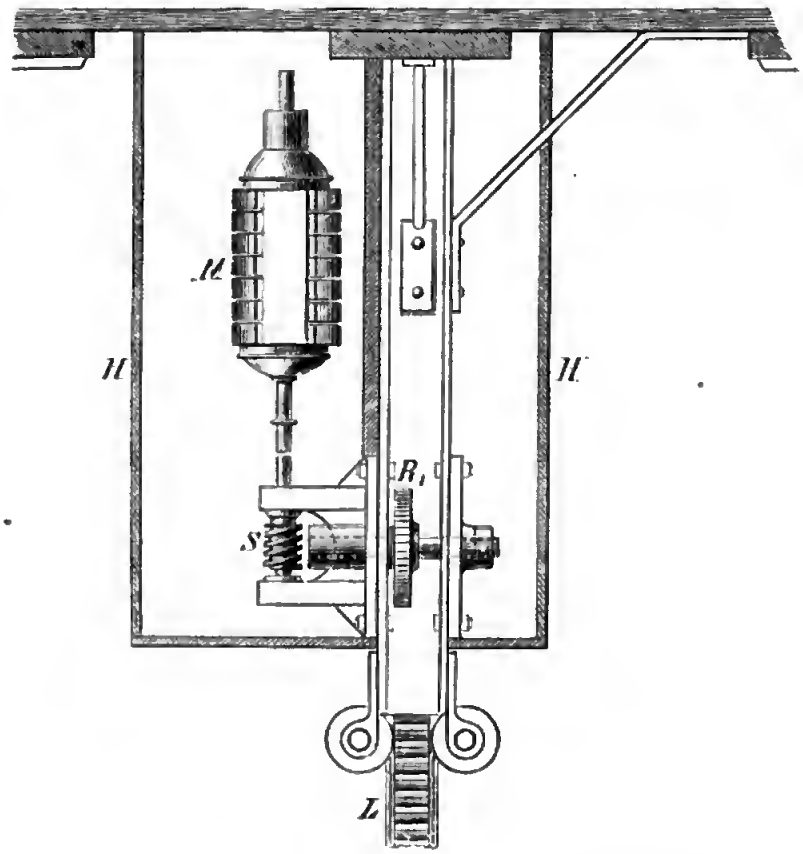


Fig. 40.

Die Firma Siemens & Halske hat auch vorgeschlagen, die pneumatische Post, welche zur Beförderung von Briefen und Telegrammen dient, durch eine kleine elektrische Bahn zu ersetzen, wie solche in Figur 40 abgebildet ist, und scheint es, dass die Berliner Behörden diesen Vorschlag adoptiren werden. —

Fig. 41.



Eine andere Anwendung der elektrischen Kraftübertragung wurde auf der Pariser Ausstellung durch den Siemens'schen elektrischen Aufzug veranschaulicht. Dieser Aufzug (Fig. 41) war so eingerichtet, dass unter der Plattform, auf welcher die Passagiere ihren Platz haben und die an einer gezahnten Eisenstange L auf- und

niederglitt, ein kleiner Siemens'scher Motor *M* angebracht war, der seinen Strom von einem feststehenden Motor erhielt und durch dessen Drehung zwei einander symmetrisch gegenüber stehende Zahnräder R_1 in Bewegung gesetzt werden, die in die Zähne der Zahnstange eingreifen und so den Aufzug in die Höhe schrauben, oder, wenn man die Richtung des Stromes durch einen Umschalter verändert, den Aufzug herunterlassen. Ein Unfall kann selbst bei einem Unterbrechen des Stromes nicht eintreten, da in diesem Falle die Zahnräder, welche sich fest in die Fugen der Zahnstange einlegen, den Aufzug in der Schwebe halten. Die ganze Vorrichtung ist in einem Holzgehäuse *H* eingeschlossen. —

Ueber einen von Herrn Deprez in Paris construirten elektrischen Hammer, bei dem die Kraft ebenso wie im Dampfhammer direct zur Hebung und Senkung des Hammers benutzt wird, ohne vorher in eine rotirende Bewegung umgesetzt zu werden, macht »La Nature« die folgenden Angaben: Der eigentliche Hammer dieses vorläufig nur experimentellen Apparates besteht aus einem einfachen, cylindrischen Block von weichem Schmiedeisen mit stählerner Hammerfläche, welcher durch Einfluss der Elektricität in einem Hohlcylinder auf- und abbewegt wird, ohne an dem letzteren eine grosse Reibung zu finden. Unter dem Hammer befindet sich der Amboss.

Der Hohlcylinder ist aus einer Anzahl flacher Drahtspulen zusammengesetzt, deren Enden so mit einander verbunden sind, dass sie eine einzige continuirliche, aber nicht geschlossene Leitung bilden. Die Verbindungsenden dieser Spulen sind wie bei dem Gramme-

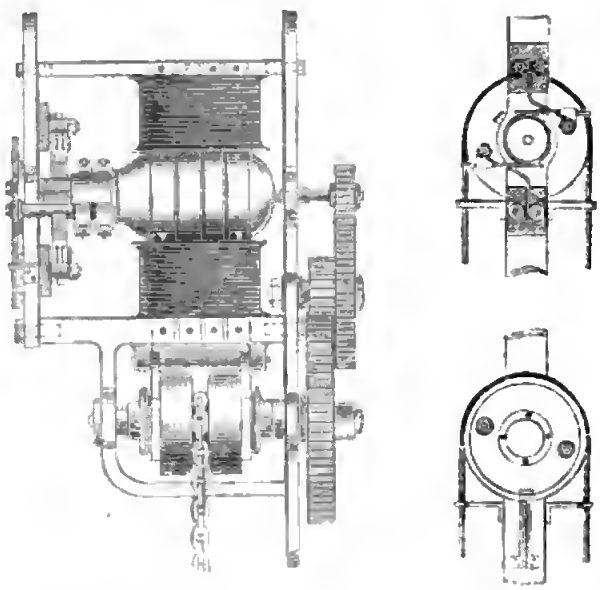
Ring in einem Kreise arrangirt. Verbindet man den ersten und den letzten Contact mit den Enden einer elektrischen Leitung, mit einem Stromerzeuger, so geht der Strom durch alle Spulen der Reihe nach: verbindet man sie aber z. B. mit der siebenten und neunzehnten, so geht der Strom nur durch die dazwischenliegenden Spulen. Zur Verbindung einer Spulensection mit der Stromquelle dienen zwei radiale Contactarme oder Bürsten, welche auf die gewünschten Contacte unabhängig von einander eingestellt werden. — Wird nun ein elektrischer Strom durch eine Spulensection geleitet, so zieht dieselbe den auf dem Amboss ruhenden Hammer zu sich herauf und hält ihn, bis der Strom wieder unterbrochen wird, worauf er auf den Amboss herabfällt und einen Schlag auf ein etwa dazwischen gelegtes Schmiedestück ausübt. Jeder Oeffnung und Schliessung eines Contactes entspricht also ein Hammerschlag, und lässt sich nach kurzer Uebung mit dem elektrischen Hammer vielleicht besser arbeiten als mit dem Dampfhammer. Beim Schliessen des Contactes fliegt der Hammer zuerst über seine Ruhehöhe hinaus und man hat daher eine höhere Fallhöhe, wenn man in diesem Augenblicke den Contact unterbricht. — Auch mit diesem Hammer kann das bekannte Experiment, Aufknacken einer Nussschale, ohne den Kern zu zerstören, ausgeführt werden. —

Ein elektrischer Krahn, dessen Wirkung durch das Spiel mehrerer in einander greifender Zahnräder hervorgebracht wird, ist dem englischen Elektriker Herrn Hopkinson vor Kurzem patentirt worden. Die Construction desselben ist aus Figur 42 deutlich er-

sichtlich. — In den Gruben von La Peronnière in Frankreich werden Kohlenwagen mittelst Elektricität 100 Mtr. hoch emporgewunden. —

Auf der Pariser Elektricitäts-Ausstellung hatten Siemens & Halske unter Anderem auch eine elektrische Pumpe ausgestellt, welche per Minute 3500 Liter lieferte und nach der »Z. f. a. E.« durch Modell D_2 betrieben wurde. Die Bewickelung der Maschine war in starkem Draht ausgeführt, wahrscheinlich weil ursprünglich der Strom auch gelegentlich zu galvanoplastischen Zwecken verwendet wurde. Im Allgemeinen ist ja grosse Stromstärke und wenig Spannung für Kraftübertragung durchaus ungeeignet. Die elektrodynamische Maschine lief gegen die Bürsten, welche aus Blech gebildet waren; dies machte einen etwas primitiven Eindruck. —

Fig. 42.



Auch das Beispiel Jakobi's, welcher vor 43 Jahren sein Boot mittelst einer gewöhnlichen galvanischen Batterie auf der Newa betrieb, hat gegenwärtig wieder Nachahmer gefunden, und wie schon das im Anfange dieses Buches beschriebene Boot Trouve's zeigt, hat die Elektricität nunmehr wirklich Hoffnung eine Anwendung zum Betriebe von Motoren auf Schiffen zu finden,

da seit Erfindung der Secundär-Batterien die elektrische

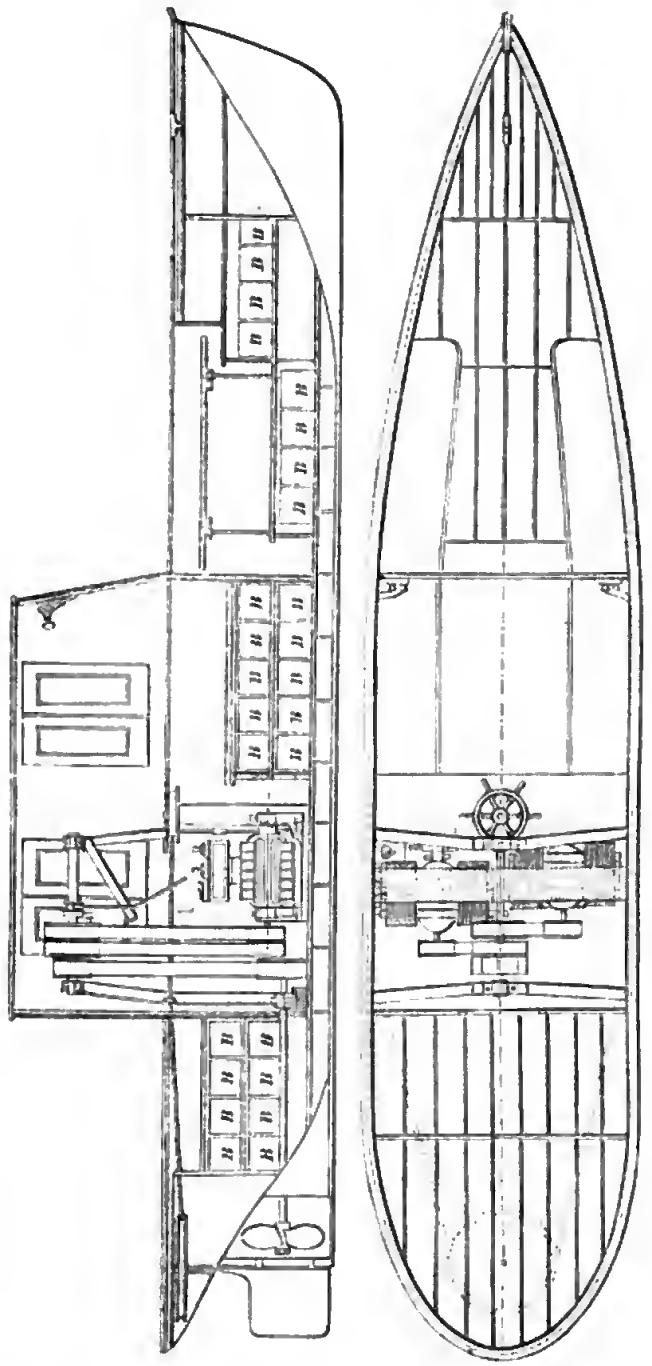


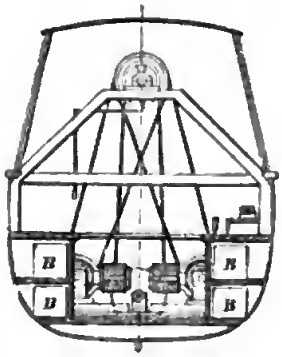
Fig. 43.

Betriebskraft in verhältnissmässig billiger Weise beschafft werden kann.

Ein Boot, welches gegenwärtig durch einen elektrischen Motor betrieben und wirklich zu commerciellen Zwecken benutzt wird, ist das von der »Electrical Power-Storage Company« zu Millwall (London) construirte Boot »Electricity«, dessen Motoren, ein Paar Siemens-Dynamos von der Grösse D_3, ihren Strom von Sellon & Volkmar'schen Secundär-Batterien erhalten, und welches am 28. September dieses Jahres (1882) seine erste Fahrt auf der Themse antrat. (Fig. 43 u. 44.)

Der Körper dieses Bootes ist aus Eisen angefertigt, 25 Fuss lang, in der Mitte etwa 5 Fuss breit; im vorderen Theil hat es 21 Zoll Tiefgang, am hinteren Ende 30 Zoll Als Antriebsmechanismus dient eine Propellerschraube nach dem System von Collis Browne; dieselbe hat 20 Zoll Durchmesser bei 3 Fuss Ganghöhe und soll 350 Umdrehungen pro Minute machen. Zwölf Personen können bequem an Bord untergebracht werden, obgleich bei den Versuchsfahrten gewöhnlich nur vier mitgenommen wurden. Die zum Betriebe dienenden Accumulatoren werden, während das Boot vor Anker liegt, vom Etablissement der Gesellschaft aus mittelst einer quer durch die Werfte gelegten Drahtleitung geladen. Das Schiff ist zur Aufnahme von 54 Elementen eingerichtet und die beigegebenen Skizzen zeigen wie die Aufstellung derselben ermöglicht worden ist, ohne den Laderaum des Schiffes zu beeinträchtigen; die einzelnen Elemente sind in den Skizzen mit dem Buchstaben B bezeichnet. Bei den Probefahrten wurden nur

Fig. 44.



45 Elemente benützt; dieselben ergaben im Ganzen eine elektromotorische Kraft von 96 Volts und sollen im Stande sein, neun Stunden lang einen Strom von mehr als 30 Ampères zu liefern. Die Accumulatoren besitzen ein Gesammtgewicht von circa 1000 Kilo. Die Elektromotoren sind so angeordnet, dass man sie beide einzeln oder zusammen in den Stromkreis bringen kann; auch ist ein Commutator eingerichtet, mit dem man jede beliebige Anzahl von Elementen über 40 in den Stromkreis einschalten kann. Jeder Motor kann vermittelst einer Addymann'schen Frictionskupplung leicht und ohne jeden Stoss ein- und ausgeschaltet werden. Eine Umsteuerung wird für beide Motoren auf die sehr einfache Weise erzielt, dass man für jeden Collector oder Commutator zwei Paar Bürsten anordnet, von denen das eine vorne, das andere hinten mit einem ringförmigen Leiter verbunden ist; durch ein einfaches Hebelwerk kann dann jedes Bürstenpaar ganz nach Belieben gegen die Segmente des Commutators gedrückt werden. Diese Vorrichtung bewährte sich beim Gebrauch ganz vorzüglich und gestattete, das Boot durch Umschalten der Maschinen äusserst rasch zum Stillstand zu bringen. Wie aus den Skizzen hervorgeht sind die Motoren durch Treibriemen mit den Riemscheiben einer Vorgelegewelle in Verbindung, von welcher dann wieder ein Riemen nach einer Riemscheibe auf der Propelleraxe führt; durch dieses Vorgelege wird die Tourenzahl in dem Verhältniss von 950 zu 350 Umdrehungen pro Minute reducirt. Das Steuerruder wird von derselben Person gehandhabt, welche auch die Umschaltvorrichtungen bedient und in der Mitte des Schiffes stationirt

ist. An Stelle der Signalpfeife, welche des mangelnden Dampfes wegen entfallen musste, bediente man sich eines grossen elektrischen Läutewerks, welches ebenfalls von den Accumulatoren aus betrieben wurde. Die Fahrgeschwindigkeit des Schiffes ist auf neun Meilen pro Stunde berechnet und diese Geschwindigkeit wurde bei den Probefahrten von Millwall nach London Bridge und zurück auch wirklich erreicht. Der Entwurf und die Detailconstructionen des Schiffes sind in der Hauptsache ein Werk des Herrn Reckenzaun, Maschineningenieur der »Electrical Power-Storage Company«.

Ausser den bisher beschriebenen Anwendungen giebt es noch unzählige Beispiele, in welchen die elektrische Kraftübertragung entweder direct oder durch Vermittlung von Secundär-Batterien sich ausgezeichnet bewährt hat; doch liegt es ausserhalb der Grenze dieses Büchleins dieselben alle im einzelnen zu beschreiben. Jedermann wird aus den angeführten Fällen bereits erkennen, dass die elektrische Kraftübertragung schon mit den bisher bekannten Hilfsmitteln zu einer ausgedehnten Verwendung berechtigt ist, und es steht ausser Zweifel, dass nach einer rationellen Verbesserung der elektrischen Motoren, diese mit der Zeit die früheren Motoren in vielen Fällen zu ersetzen berufen sind.

XII.

Ueber die Rentabilität der elektrischen Kraftübertragung.

In den bisherigen Abschnitten dieses Buches haben wir uns fast ausschliesslich mit den theoretischen und praktischen Vorbedingungen für elektrische Kraftübertragungen beschäftigt und auch bei Aufzählung der wichtigsten bisher bekannt gewordenen Anwendungen dieser neuesten und so überaus interessanten Errungenschaft wissenschaftlicher Forschung und industriellen Unternehmungsgeistes die in der Ueberschrift angedeutete Seite derselben nur nebenher berücksichtigt. Und doch ist die Frage nach der Rentabilität einer neuen Erfindung oder Anwendung stets der Kernpunkt des Ganzen. Wohl kann der Staat, wohl können einzelne begüterte Privatpersonen sich der Realisirung und Fructificirung neuer Ideen widmen, ohne nach dem praktischen Nutzen zu fragen — und es ist gut, dass sie es können, denn sonst würde in dem raschen Tempo unseres Zeitalters zur immer vollkommeneren Erkenntniss des Wahren, Guten und Schönen recht bald eine bedenkliche Abschwächung eintreten — aber wirthschaftliche Bedeutung gewinnen die neuen Entdeckungen und Erfindungen doch erst dann, wenn ihre Anwendung dem Unternehmer praktisch greifbare Vortheile bringt.

Bei der Neuheit des uns hier beschäftigenden Problems der elektrischen Kraftübertragung ist es aber

selbstverständlich, dass eben über die finanziellen Resultate, über die Rentabilität der elektrischen Kraftübertragung nur noch wenig zuverlässige Angaben vorliegen, und dass sich daher die nachfolgenden Betrachtungen mehr auf dem Gebiete des Möglichen und Wahrscheinlichen als auf dem der positiven Gewissheit bewegen werden.

Der Mann, welcher, wie wir oben gesehen, den ersten Anstoss gegeben hat zu den regen Forschungen der letzten fünf Jahre, auf dem in vorliegendem Buche behandelten Gebiete, Dr. C. William Siemens, hat auch die ersten Versuche und Beobachtungen über das praktische Ergebniss der elektrischen Kraftübertragung angestellt und konnte dasselbe schon im Jahre 1878 dahin präcisiren, dass man im Stande sei, etwa die Hälfte der ursprünglich zur Erzeugung des elektrischen Stromes aufgewendeten mechanischen Kraft durch elektrische Kraftübertragung in Form nutzbarer Arbeit wieder zu gewinnen.

Dies Ergebniss kann auch wohl heute noch als ziemlich zutreffend betrachtet werden, denn wie wir weiter unten sehen werden, beruhen die seither beobachteten günstigeren Resultate höchst wahrscheinlich zum grösseren Theile auf absichtlicher oder unbewusster Täuschung, während manche ungünstigere Ergebnisse auf die Unvollkommenheit der verwendeten Apparate oder auf Unzuverlässigkeit der Beobachtungen und der bei denselben verwendeten Instrumente zurückzuführen sein dürften.

Higgs sagt in den Conclusions seines 1879 erschienenen Werkes über elektrische Kraftüber-

tragung,*) dass man zweifellos 48% der aufgewendeten Kraft nutzbar machen könne, und dass das Resultat dem mit comprimirter Luft erreichbaren überlegen sei und sich dem Ergebniss hydraulischer Transmission nähere. Vor beiden habe aber elektrische Uebertragung den grossen Vortheil, dass Entfernung für sie kein Hinderniss, dass sie nicht an den Ort gebunden sei und sowohl bezüglich ihrer Richtung als auch ihrer Intensität stets ganz nach Belieben modificirt werden könne. Ueberdies seien auch die Anlage- und Unterhaltungskosten für elektrische Kraftübertragung geringer als die für comprimirte Luft oder hydraulische Transmission.

Im Capitel V dieses Buches haben wir gesehen, dass Deprez auf dem Wege theoretischer Berechnung auf einen Gewinn von 10 Pferdekräften bei einem Kraftaufwand von 16 Pferden gelangt, also auf einen Nutzeffect von 62·5%. Ziehen wir hievon die in der Praxis unvermeidlichen Verluste ab, so dürfte das mit den verwendeten Hilfsmitteln, zwei Gramme'schen Maschinen, Modell *C*, praktisch erreichbare Resultat mit dem von Siemens ermittelten so ziemlich stimmen. Fontaine's Versuche mit zwei gleichen Gramme'schen Maschinen ergaben das gleiche Resultat. — Ausserordentlich widersprechend lauten die bisher bekannt gewordenen Angaben über die auf der vorjährigen elektrischen Ausstellung in München mit elektrischer Kraftübertragung erzielten Resultate. Es waren dort zwei Unternehmer für solche Versuche aufgetreten. Sigmund Schuckert aus Nürnberg setzte von der

*) Electric Transmission of power etc. by Paget Higgs, London: Chapter X page 85.

5 Km. entfernten Hirschau aus zwei im Glaspalast aufgestellte kleine leergehende Dreschmaschinen in Bewegung und Deprez trieb, von dem 56 Km. weit entfernten Miesbach aus, mit Benützung eines gewöhnlichen Telegraphendrahtes Centrifugalpumpen etc. Während nun deutsche Berichterstatter den Nutzeffect der letzteren Anlage von vorn herein auf 25—40% angaben, mit dem Bemerken, dass dies Resultat in Anbetracht der Verwendung einer gewöhnlichen Telegraphenleitung vollkommen befriedigend sei, wurden von französischen Journalen die Deprez'schen Resultate in den Himmel erhoben, von 67% Nutzeffect gesprochen und dabei über die Schuckert'sche Installation in völlig ungerechtfertigter Weise der Stab gebrochen.

So behauptete »La Lumière electrique« nach einer absprechenden Beurtheilung der Schuckert'schen Kraftübertragung, dass, als einmal der Stromkreis geschlossen war, am Arbeitsmesser der Maschine eine disponible Kraft von 38 K. m. s. nachgewiesen wurde, während die Betriebsmaschine kaum eine Pferdekraft verbrauchte und in der Minute 2200 Umdrehungen machte; die empfangende Maschine lief mit 1500 Umdrehungen. »Das war ein Erfolg, man hatte einen Wirkungsgrad von 67%«. — Mit Recht bemerkt Gravier dazu, dass die Umdrehungszahlen hier gar nicht in Betracht kommen, sondern nur der Nutzeffect mit 38 K.m. s. und die Arbeit, welche nöthig war, um denselben hervorzubringen, also »kaum« 75 K. m. s. Das Verhältniss dieser beiden Zahlen ist aber 54%. — In ähnlicher Weise widerlegt Gravier noch die Behauptungen eines anderen Berichterstatters und die Aus-

lassungen desselben über den billigen Preis der so gewonnenen Betriebskraft.

Officielle Angaben über die Deprez'schen Resultate liegen noch nicht vor, dürften möglicher Weise auch niemals bekannt gegeben werden, denn ein Rundschreiben des elektrotechnischen Comités vermeidet in schonender Weise alle positiven Angaben, constatirt, dass die verwendeten Apparate sehr ungenügend waren und »nach zehnmaliger vollständig gelungener Functionirung« so erhebliche Störungen erlitten, dass dieselben während der Dauer der Ausstellung nicht mehr reparirt werden konnten. Das Rundschreiben schliesst: »Marcel Deprez wird nun diese Versuche weiter fortsetzen und zwar in viel grösserem Massstabe, indem er in einigen Wochen vorerst mit einer für den praktischen Betrieb eingerichteten elektrischen Maschine von 40 Pferdekräften weitere Kraftübertragungen auf der bisher benützten Leitung durchführen wird. Man sieht diesen Versuchen, die von weittragendster Bedeutung sind, in den elektrotechnischen Fachkreisen mit ausserordentlicher Spannung entgegen.«

Wie man sieht, ist es bis auf Weiteres gerathen, bei Berechnung einer Kraftübertragungsanlage über die von Siemens für den Nutzeffect angegebene Ziffer von 50% nicht hinaus zu gehen.

Siemens setzte nun bei seiner damaligen Berechnung eine Centralstation voraus, wo Dampfkraft bis zur Stärke von 100 Pferdekräften thätig ist, um mehrere dynamoelektrische Maschinen von passenden Dimensionen in Bewegung zu setzen. Der erzeugte Strom sollte dann durch geeignete Leiter in eine Anzahl

Hallen oder Fabriken gebracht, dort als Licht oder mechanische Kraft verbraucht werden. Er nimmt nun an, dass zum Betriebe einer kleinen Gas- oder Dampfmaschine per Stunde mindestens 8 Pfund Kohlen per Pferdekraft verbraucht werden, während bei einer hundertpferdigen Maschine 2, höchstens 2·5 Pfund Kohlen erforderlich sind. Werden nun 50% Nutzeffect erzielt, so stellt sich der stündliche Kohlenconsum bei der elektrischen Kraftübertragung per Pferdekraft auf

$$2{\cdot}5 \times \frac{100}{50} = \frac{250}{50} = 5 \text{ Pfund}$$

oder $37\frac{1}{2}\%$ niedriger, als wenn eine Gas- oder Dampfmaschine direct verwendet worden wäre.

Selbst bei einem Ertrage von nur 50% wird es aber in vielen Fällen praktischer sein, die Arbeitskraft von einem entfernten Orte herzuleiten, anstatt sie an Ort und Stelle zu erzeugen. — Herr Glaser de Cew sprach sich vor einigen Monaten in einem Artikel der »Neuesten Erfindungen und Erfahrungen« über die elektrische Kraftübertragung aus, wie folgt:

»Abgesehen davon, dass die Aufstellung von Dampfmotoren an manchen Orten mit grossen Inconvenienzen verbunden ist, während die kleinen, nur wenig Raum einnehmenden Elektromotoren, bei denen auch die Unannehmlichkeit des Auftretens von Verbrennungsproducten wegfällt, fast überall ohne Hinderniss benutzt werden können, wird es einleuchtend sein, dass, wenn man z. B. die Kraft eines Wasserfalles durch Vermittelung der Elektricität benutzen kann, ein Gewinn von 50% dieser Kraft weit vortheilhafter ist als die Anwendung einer Dampfmaschine an Ort und Stelle,

da die Ausnützung der Kraft eines Wasserfalles etwa um sechs Siebentel billiger ist als die Dampfkraft.

Aber auch selbst bei Anwendung der Dampfkraft erreicht man, wenn man nur kleine Arbeitskräfte gebraucht, z. B. für Krahne, Aufzüge u. s. w., ein weit günstigeres Resultat, wenn man die Dampfkraft von einem Punkte, wo sie centralisirt ist, d. h. wo sie in grossem Massstabe erzeugt wird, herleitet, als wenn man sie an Ort und Stelle erzeugt; da man gegenwärtig grosse Dampfmaschinen construirt, welche nicht mehr als zwei Pfund Kohle per Stunde und Pferdekraft gebrauchen, während die kleinen Maschinen mindestens fünf Pfund Kohle per Stunde und Pferdekraft verzehren. Man verliert demnach bei Anwendung der kleinen Maschinen 60%, während durch die elektrische Kraftübertragung nach dem Obengesagten nur 50% Arbeitsverlust stattfinden.«

Im ersten Bande der elektrotechnischen Bibliothek*) versucht derselbe Verfasser ein Resultat für die Anwendung Faure'scher Accumulatoren zum Betriebe einer elektrischen Bahn zu berechnen und kommt zu dem Resultate, dass eine solche Batterie bei reinlich gehaltenen Schienen und einer Geschwindigkeit von 3 Mtr. per Secunde, per Kilo Eigengewicht noch 5 Kilo Lastgewicht fortbewegen könne. Dies gar nicht so ungünstige Resultat wird aber für Tramwaygeleise, in denen sich viel Schmutz anhäuft und eine viel bedeutendere Reibung verursacht als sie bei gewöhnlichen Schienengeleisen vorkommt, so bedeutend modificirt, dass die Accumu-

*) Die magnetelektrischen Maschinen von Gustav Glaser de-Cew. Wien 1883. S. 138 u. f.

latoren nur noch das Doppelte ihres eigenen Gewichtes fortzubewegen im Stande sind, und trotzdem hat sich, wie wir im letzten Capitel sahen, in Paris der Tramwaybetrieb mit elektrischer Kraft als vortheilhafter ausgewiesen, wie der einer gewöhnlichen Pferdebahn.

Aus allem Diesen geht hervor, dass die elektrische Kraftübertragung schon jetzt lebensfähig ist, und, dass dieselbe binnen Kurzem eine ebenso epochemachende Umwälzung hervorrufen wird, wie sie einst durch die Erfindung der Dampfmaschine veranlasst wurde, steht fast ausser Zweifel.

Man hat deshalb auch kein Recht, die von einzelnen Elektrikern als letzte Ziele der elektrischen Kraftübertragung entworfenen Projecte so ohne weiters mit vornehmem Lächeln als phantastische Hirngespinnste zu bezeichnen, insbesondere wenn sie von so ernsten und um Wissenschaft und Praxis verdienten Männern wie Siemens, Bessemer etc. für ausführbar gehalten werden. Der letztgenannte berühmte Techniker hat jüngst den älteren Plan, Triebkraft unmittelbar von den Kohlengruben vermittelst elektrischer Drahtleitung nach grossen Städten zu leiten, in folgender Weise näher präcisirt: Man solle London mit einem der nächstgelegenen Kohlenfelder durch einen Kupferdraht von 1 Zoll Durchmesser in Verbindung setzen, um bei 84.000 Pferdekräfte Triebkraft nach London zu transmittiren und so praktisch die Kohlenkraft per Draht anstatt per Eisenbahn nach London zu transportiren. Angenommen, eine Pferdekraft kann mit dem stündlichen Verbrauch von 3 Ctr. Kohlen erzeugt werden und dass die Dampfmaschinen $6\frac{1}{2}$ Tage in der Woche

in Thätigkeit stehen, so müsste sich nach obiger Angabe der zu liefernden Triebkraft ein jährlicher Kohlenverbrauch von 1.012,600 Tonnen in London ergeben. Wenn nun diese Masse Heizstoff an der Mündung der Kohlengrube mit einem Kostenaufwande von etwa 6 Schillingen für die Tonne grosser und 2 Schillingen für die Tonne kleiner Kohlen verbrannt würde, so würde dieses um wenigstens ein Viertel billiger geschehen, als in London. Hierdurch würden die Kosten des elektrischen Lichtes und des Betriebes von Elektromotoren bedeutend verringert werden. Auch würde die Stadt von dem enormen Volumen Rauch und schlechter Gase verschont werden, welche die Verbrennung so vieler Kohlen jetzt erzeugt. Wenn der einzöllige Kupferdraht ungefähr 533 Pf. per Meile kosten und nach einer 120 Meilen entfernten Kohlengrube gelegt werden müsste, so würden die Interessen zu 5% an den ersten Kosten weniger als ein Penny per Tonne Kohlen betragen. Die Verwirklichung eines solchen Projectes ist, vom gegenwärtigen Standpunkte aus betrachtet, nicht unmöglich.

Ein anderes, nicht minder schönes Project wird gegenwärtig von zwei Wiener Constructeuren, von denen der eine praktischer Elektrotechniker ist, näher ausgearbeitet. Dieselben wollen nämlich in der Nähe der städtischen Bäder durch die Wasserkraft der Donau immense Quantitäten von Elektricität erzeugen, um diese dann im Wege des Faure'schen Aufspeicherungs-Systems in grösseren und kleineren Kisten an Fabrikanten und Gewerbetreibende zur elektrischen Beleuchtung, zum Maschinenbetrieb etc. gegen entsprechende

Entschädigung abzulassen. Neben dem Transport der Elektricität in Kisten soll auch die Methode der Weiterleitung mittelst in die Erde zu versenkender Kabel in Betracht gezogen, eventuell eine Combination beider Beförderungs-Methoden mit Control-Elektricitäts-Magazinen in jedem Bezirke getroffen werden, so dass alle Fabrikanten, Gewerbetreibenden, Nähmaschinen-Besitzerinnen desselben Bezirkes ihren Bedarf an Betriebskraft je nach Umständen und Erforderniss für einen oder mehrere Tage decken, indem sie ihre Kiste zum Zwecke der Füllung ganz einfach ins Magazin schicken. Auch dieses Project kann durchaus nicht so ohne weiters als unausführbar bezeichnet werden.

Anhang.

Eine rechnungsmässige Widerlegung der französischen Behauptung bezüglich der Deprez'schen Resultate in München fanden wir im »Centralblatt für Elektrotechnik« in dem Bericht eines offenbar gut informirten Berichterstatters über die elektrische Kraftübertragung auf der Münchener Ausstellung und konnten uns nicht versagen, des hervorragenden Interesses halber, welches die Deprez'schen Versuche bieten, an Stelle des noch immer fehlenden officiellen Berichtes, mit Hinweglassung alles Polemischen den Hauptinhalt dieses Referates unsern Lesern zu übermitteln.

Digitized by Google

»Die Länge der Leitung von Miesbach nach dem Glaspalaste beträgt 57 Km. Widerstand der Drahtleitung (4·5 Mm. Drchm.) betrug 950 Ohms, der Verlust durch mangelhafte Isolation etwa 3%. Die beiden Grammeschen Maschinen waren gleich gebaut und mit sehr feiner Bewickelung versehen, der Widerstand einer jeden betrug 470 Ohms; so dass im gesammten Schliessungskreis ein Widerstand von 1890 Ohms vorhanden war. Die Maschine in Miesbach machte 2200 Touren per Minute, die im Glaspalast 1500. Nun ist ja bekannt, dass die elektromotorische Kraft einer Maschine bei gleicher Stromstärke der Tourenzahl nahezu direct proportional ist; darauf stützte sich die Angabe, dass der Nutzeffect mehr wie 60% betrage, da $\frac{1500}{2200}$ etwa 68% ergiebt.

Es ist aber eine Nutzeffect-Berechnung aus der Tourenzahl nur dann annähernd richtig, wenn beide Maschinen vollständig gut isolirt, ganz intact sind und wenn auf der Linie kein Stromverlust stattfindet. Dies ist aber bei Maschinen, welche mit so enormen Spannungen arbeiten, nicht denkbar. So lief bei einer Kraftübertragung in Montceau les Mines der Krafterzeuger schneller als der Stromerzeuger, was nach obiger Rechnung mehr wie 100% Nutzeffect ergeben würde.

Nach den uns von Herrn Dr. Kittler gegebenen Mittheilungen betrug die Stromstärke im Glaspalaste 0·5 Amp., die Spannung 850 Volts. Nun betrug der Widerstand der Maschine 470 Ohms, also der Spannungsverlust im Innern der Maschine 235 Volts, so dass also 615 Volts als elektromotorische Gegenkraft

übrig blieben. Hieraus ergiebt sich der theoretische Effect den die Maschine hätte leisten können, zu:

$$E = \frac{ie}{9{\cdot}81} = \frac{0{\cdot}5 \times 615}{9{\cdot}81} = 31{\cdot}3 \text{ K. m. s.},$$

während bei directer Messung mit einem Prony'schen Zaum 38 K. m. s. gemessen sein sollen.

Schlagen wir nun den Verlust durch Magnetisirungsarbeit des Ringes, Foucault'sche Ströme, Reibung zu 8% an, was in Anbetracht der 1500 Touren nicht hoch sein dürfte, so ergiebt sich der wahrscheinliche Werth des Effectes zu 28·8 K. m. s. anstatt zu 38.

Der am Krafterzeuger aufgewandte Effect in Volt-Ampères ist

$E_K = 850$ Volts $\times$ 0·5 Amp. $= 425$ Volt-Ampères.

Bei der Berechnung des Verlustes in der Leitung ist zu berücksichtigen, dass in Folge mangelhafter Isolation ein Stromverlust von 3% stattfand. Es betrug sonach die Stromstärke in Miesbach 0·515 Ampères. Der Effectverlust in der Leitung berechnet sich auf

$$E_L = 244{\cdot}9 \text{ Volt-Ampères.}$$

Der Effect im Stromerzeuger ist, da der Widerstand 470 Ohms und die Stromstärke 0·515 Ampères beträgt, gleich

$$E_{St} = (0{\cdot}515)^2 . 470 = 124{\cdot}9 \text{ Volt-Ampères.}$$

Der Stromerzeuger erzeugt also einen elektrischen Effect von

$$\begin{aligned} E_K &= 425 \\ E_L &= 244{\cdot}9 \\ E_{St} &= 124{\cdot}6 \\ \hline E &= 794{\cdot}5 \end{aligned}$$

Rechnen wir hierzu noch 10% für Effectverlust durch

Magnetisirungsarbeit des Ringes, Foucault'sche Ströme und Reibung, was bei 2200 Touren nicht zu hoch gerechnet sein dürfte, so erhalten wir den vom Motor auf den Stromerzeuger übertragenen Effect zu 874 Volt-Ampères oder 89·1 K. m. s. und daraus ergiebt sich der Nutzeffect zu

$$\frac{31{\cdot}3}{89{\cdot}1} = 35\%$$

Es liegt uns fern, zu behaupten, dass der Nutzeffect nicht grösser gewesen ist, wir halten es aber nicht für wahrscheinlich, und übrigens hat Herr Deprez in einer nachträglichen Publication 35% als obere Grenze des Nutzeffectes angegeben.

Nun noch einige Bemerkungen von allgemeiner Bedeutung. Aus den oben angegebenen elektrischen Dimensionen berechnet sich die Klemmenspannung der Maschine zu etwa 1330 Volts. Das ist eine Spannung, welche bei so kleinen Dimensionen, wie die Grammeschen Maschinen sie besassen, die Sicherheit des Betriebes mehr wie in Frage stellte. In der That sind in den wenigen Tagen, welche die Einrichtung im Betriebe war, eine Anzahl von Inductionsfehlern aufgetreten, welche den Betrieb unterbrachen; weiterhin scheint die Frage berechtigt, ob solche Spannungen vom polizeilichen Standpunkte zulässig sind. Wir glauben kaum, dass eine Behörde praktische Anlagen der Art genehmigen wird, sobald sie die Gefahren kennt.

Was die als besonderes Verdienst hervorgehobene Benützung einer Telegraphenleitung betrifft, so ist folgendes zu bemerken: Nennt man i die Stromstärke in einer Kraftübertragungsleitung, e die elektromotorische

Gegenkraft des Krafterzeugers, w den Widerstand des genannten Stromkreises und A die vom Stromerzeuger consumirte Arbeit, so kann man, wenn man die Verluste durch Magnetisirung, Foucault'sche Ströme und Reibungen vernachlässigt, die Effectgleichung schreiben:

$$A = ie - i^2 w \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

die Arbeitsleistung des Krafterzeugers ist dann:

$$A_1 = ie \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Also $A = A_1 - i^2 w \quad . \quad . \quad . \quad (3)$

Die Kraftleistung hängt also nur von dem Product ie ab und es ist ganz gleichgiltig, ob man i verkleinert, wenn nur e in gleichem Masse vergrössert wird, um das Product constant zu erhalten, Setzt man also $i = o$ und $e = \infty$, so geht Gleichung (3) über in

$$A = A_1 \quad . \quad . \quad . \quad , \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

da i^2 als Quadrat einer unendlich kleinen Grösse zu vernachlässigen ist, und dadurch $i^2 w = o$ wird.

Die Gleichung (4) besagt also, dass in diesem Falle der Nutzeffect gleich 100% sein muss. Dafür ist aber der Verlust durch mangelnde Isolation und die Gefahr, von einer solchen Maschine getödtet zu werden, unendlich gross.«

Index.

Accumulatoren. 161.
Ampère's Theorie. 21, 33.
Aufzüge und Krahnen, elektrische. 215.
Bergwerksarbeiten mit elektrischer Kraftübertragung. 193.
Berthoud & Borel's Kabel. 87, 190.
Bessemer's Project. 230.
Bindedrahtbund. 81.
Böttcher's Accumulatoren. 169.
Borel's Elektromotor. 33.
Brewtnall's Isolirung von Drahtverbindungen. 190.
Brook's Isolirmethode. 85, 189.
Brotherhood-Motoren. 12.
Bürgin's Elektromotor. 35.
Cabanellas' Transformationssystem. 171.
Charakteristische Curven. 107.
Chatamer Versuche. 67.
Chaterton's Mischung. 97.
Clarke'sche Gasmotoren. 14.
Clark's Isolirmethode. 185.
Clark & Muirheads Isolirung.
Compoundmaschinen. 12.
Compound telegraph wire. 81.
Dampfkessel und Dampfmaschinen für elektrische Kraftübertragung. 11.
Deprez' Berechnungen über die Leistungsfähigkeit Gramme'scher Maschinen. 61.
Deprez' charakteristische Curven. 107.
Deprez' elektrischer Hammer. 216.
Deprez' Elektromotor. 33.
Deprez' Stromregulationssystem. 106.
Drahtstärke für elektrische Uebertragung auf grosse Entfernung. 51.
Drahtverbindungen bei elektrischen Leitungen. 81.
Dupuy's Anwendungen. 201.
Dynamoelektrische Maschinen. 23.
Ebbe und Fluth. 1, 17.
Edison's elektrische Motoren. 19.
Ehrich's Stromleitung bei elektrischen Bahnen. 188.
Elektrische Eisenbahnen. 8, 203.
Elektrische Kraftübertragung, Definition derselben 6.
Elektrische Kraftübertragung, Vorzüge derselben 5.
Elektrische Maschinen für Kraftübertragung. 25.
Elektrischer Schiffsbetrieb. 30, 31, 218.
Elektrische Tramway. 210.
Elektromotoren. 28.
Elektromotorische Gegenkraft. 47.
Energie, Formen derselben. 1, 10, 24, 39.
Energieverluste b. d. e. Kraftübertragung, Ursachen derselben. 174.
Erhaltung der Energie, Gesetz von der. 39.
Faraday's Gesetz. 40.
Farmer & Milliken's Kupferstahldraht. 82.
Faure's Accumulatoren. 163.
Felix & Chretien's Kraftübertragung. 198.

Felten & Guilleaume's Kabel. 83.
Felten & Guilleaume's Versuche mit verschiedenen Drahtsorten. 76.
Fontaine's Kraftübertragung. 197.
Forbe's Versuche über Durchmesser der Leitungsdrähte. 178.
Foucault'sche Ströme. 59.
Fröhlich's Ansichten. 118, 149.
Froment's Motor. 28.
Gasmaschinen für elektrische Kraftübertragung. 14.
Gautherot's Entdeckung. 162.
Gegenkraft, elektromotorische. 47.
Gordon's elektrische Maschine. 177.
Gramme's elektrische Maschinen. 27.
Gravier's Doppelunterbrechungssystem. 158.
Gravier's Stromtheilungs-System. 103.
Grosse Maschinen, Wichtigkeit derselben. 73.
Halladay's Windräder. 5.
Harzer Wasserwirthschaft. 3.
Heilmann, Ducommun & Steinlen's Installation auf der Pariser Ausstellung. 199.
Heizkraft der Sonne. 1, 9, 18.
Henley's Isolirmethode. 186.
Hospitalier's Stromtheilungs-System. 105.
Jablochkoff-Accumulatoren. 168.
Jacobi's Elektromotor. 30.
Joule's Gesetz. 39.
Isolation elektrischer Leitungen. 55, 82, 186.
Kabath's Accumulator. 166.
Kabel. 83.
Kaufmann's Inductionsapparat. 156.
Klemmenbund. 81.
Kosten der durch galvanische Batterien erzeugten elektromotorischen Kraft. 36.
Kraftübertragung auf grosse Entfernungen durch Elektricität, theoretische Berechnung derselben. 81.
Kropfbund. 81.
Kupferstahldraht. 81.
Kuppelung galvanischer Elemente. 42.
Labye's Isolirmethode. 87.
Lane Fox' Stromtheilungs-System. 106.
Leistungen elektrischer Maschinen. 60.
Leitungen für elektrischen Strom. 74.
Leitungswiderstand. 39.
Ludwig's Versuche über Oxydation des Drahtes. 81.
Magnetelektrische Maschinen. 21.
Manly's Isolirung. 187.
Maxim's Stromtheilungs-System. 105.
Maxim's elektrische Maschinen. 19.
Motoren für elektrische Kraftübertragung. 10.
Münchener Versuche, 67, 224, 233.
Nähmaschinen durch Elektricität betrieben. 31, 193.
Naturkräfte. 1, 14.
Niagarafall, lebendige Kraft desselben. 2, 54.
Oberirdische Leitungen. 80.
Ohm'sches Gesetz. 40.
Otto's Motoren. 14.
Parod's Isolirung. 187.
Perry's Regel. 176.
Planté's rheostatische Maschine. 161.
Planté's Secundär-Batterie. 162.
Quantitative Koppelung von Elementen. 41.
Reddal's Isolirmethode. 86.
Relativer Werth von Kupfer-, Eisen und Phosphorbronzedraht. 184.
Rentabilität elektrischer Kraftübertragung. 223.
Ruhmkorff's Inductor. 156.
Schulze's Accumulatoren. 170.
Secundär-Elemente. 161.
Sellon-Volkmar's Accumulatoren. 168.

Sermaize, Versuche in. 197.
Siemens, Dr. W. 2, 17, 224.
Siemens' elektrische Maschinen. 13, 23, 27.
Siemens', Gebr., Kupferstahldraht. 82.
Siemens & Halske. 8, 93, 204.
Siemens' Wechselstrommaschine. 176.
Siemens' Widerstandseinheit. 74.
Specifischer Widerstand verschiedener Metalle. 74.
Sprague's Berechnung localer Wärmeanhäufungen in Leitungsdrähten. 53.
Sprague's Stromtheilung, 134.
Stromtheilung. 98.
Stromwechsler oder Commutator. 23.
Submarine Leitungen. 94.
Taverdon's Bohrmaschine, 194.
Telegraphenleitungen. 80.
Theilung des elektrischen Stromes. 98.
Theorie der Umwandlung des elektrischen Stromes in Arbeit. 38.
Thomson & Houston's Berechnung der Kabeldimension für die Uebertragung der Kraft des Niagarafalles. 54.
Tommasi's Accumulatoren. 167.
Tourenzahl der Armaturen, Einfluss derselben auf den Effect der elektrischen Maschinen. 63.
Transformatoren. 156.
Transmission zwischen Kraft- und elektrischen Maschinen. 19.
Trouvé's Motor. 30.
Turbinen. 16.
Umwandlung des Stromes in mechanische Arbeit. 45.
Unterirdische Leitungen. 82.
Uppenborn's Gesetz für das Verhältniss zwischen innerem und äusserem Widerstand. 51.
Verhältniss des inneren und äusseren Widerstandes. 51.
Versuche mit Faure's Accumulatoren in Paris. 164.
Wärmeentwickelung des elektrischen Stromes. 39.
Wärme im Stromkreise. 40.
Wasserräder. 16.
Weilenmann's Berechnungen über die Kosten elektrischer Beleuchtung. 182.
Wechselstrommaschinen, Nachtheile derselben. 25.
Windmotoren 3, 14.
Woodward's Isolirmaterial, 94.
Woolf'sche Dampfmaschinen. 12.
Ziele der elektrischen Kraftübertragung. 230.

A. HARTLEBEN's

Elektro-technische Bibliothek.

In reich illustr. Banden, geh. à 1 fl. 65 kr. ö. W. = 3 Mark = 4 Fr. = 1 R. 80 Kop.
eleg. gbdn. à 2 fl. 20 kr. ö. W. = 4 Mark = 5 Francs 35 Cts. = 2 R. 40 Kop.

I. Band. Die magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen und die sogenannten Secundär-Batterien, mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction. Von Gustav Glaser-De Cew. Dritte Auflage.

II. Band. Die elektrische Kraftübertragung und ihre Anwendung in der Praxis, mit besonderer Rücksicht auf die Fortleitung und Vertheilung des elektrischen Stromes. Von Eduard Japing.

III. Band. Das elektrische Licht. Von Dr. A. von Urbanitzky.

IV. Band. Die galvanischen Batterien, Accumulatoren und Thermosäulen. Eine Beschreibung der hydro- und thermoelektrischen Stromquellen, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von W. Ph. Hauck.

V. Band. Die Telegraphie, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von J. Sack.

VI. Band. Telephon, Mikrophon und Radiophon, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von Theodor Schwartze.

VII. Band. Elektrolyse, Galvanoplastik und Reinmetall-Gewinnung, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von Eduard Japing.

VIII. Band. Die elektrischen Mess- und Präcisions-Instrumente, sowie die Instrumente zum Studium der elektrostatischen Elektricität, mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction. Von A. Wilke.

IX. Band. Die Grundlehren der Elektricität, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von W. Ph. Hauck.

X. Band. Elektrisches Formelbuch mit einem Anhange, enthaltend die elektrische Terminologie in deutscher, französischer und englischer Sprache. Von Prof. Dr. Zech.

XI. Band. Die elektrischen Beleuchtungs-Anlagen. Von Dr. A. von Urbanitzky.

XII. Band. Die elektrischen Einrichtungen der Eisenbahnen und das Signalwesen. Von L. Kohlfürst.

XIII. Band. Elektrische Uhren und Feuerwehr-Telegraphie. Von Prof. Dr. A. Tobler.

XIV. Band. Haus- und Hôtel-Telegraphie. Von O. Canter.

XV. Band. Die Anwendung der Elektricität für militärische Zwecke. Von Dr. Fr. Waechter.

XVI. Band. Die elektrischen Leitungen und ihre Anlage für alle Zwecke der Praxis. Von J. Zacharias.

XVII. Band. Die elektrische Eisenbahn bezüglich ihres Baues und Betriebes. Von Josef Krämer.

Jeder Band ist für sich vollkommen abgeschlossen und einzeln käuflich.

Auch in Lieferungen à 30 Kr. ö. W. = 60 Pf. = 80 Cts. = 36 Kop. zu beziehen.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

Digitized by Google

Digitized by Google

JAN 9 1886
MAR 23 1888

Digitized by Google

Eng 4098.83
Die elektrische Kraftubertragung :
Cabot Science
005458975
3 2044 091 856 963